



Gazi
fotonik

YMF26

26. YOĞUN MADDE FİZİĞİ ANKARA TOPLANTISI

24 ARALIK 2021

GAZİ ÜNİVERSİTESİ - GAZİ KONSER SALONU

Web: <http://ymf26.gazi.edu.tr/>

E-posta: ymf26@gazi.edu.tr



26. Yoğun Madde Fiziği Ankara Toplantısı

24 ARALIK 2021

GAZİ ÜNİVERSİTESİ GAZİ KONSER SALONU

Danışma/Bilim Kurulu

Bekir Sıtkı Kandemir (Ankara Üniversitesi)
Şengül Kuru (Ankara Üniversitesi)
Eyüp Duman (Ankara Üniversitesi)
Oğuz Gülseren (Bilkent Üniversitesi)
Ceyhun Bulutay (Bilkent Üniversitesi)
Süleyman Özçelik (Gazi Üniversitesi)
Mehmet Çakmak (Gazi Üniversitesi)
Saime Şebnem Aydın (Gazi Üniversitesi)
Yasemin Şafak Asar (Gazi Üniversitesi)
Mehmet Emre Taşgın (Hacettepe Üniversitesi)
Emre Taşçı (Hacettepe Üniversitesi)
Mehmet Parlak (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Alpan Bek (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Düzenleme Kurulu

Süleyman Özçelik (Gazi Üniversitesi)
Mehmet Çakmak (Gazi Üniversitesi)
Saime Şebnem Aydın (Gazi Üniversitesi)
Yasemin Şafak Asar (Gazi Üniversitesi)

İletişim:

Gazi Üniversitesi
06500 Teknikokullar/Ankara
0 312 202 12 80
web: <http://ymf26.gazi.edu.tr/>
e-posta: ymf26@gazi.edu.tr

Geçmiş Toplantılar

YMF 1	Kathal Fiziği Toplantısı	Hacettepe Üniversitesi	7 Şubat 1984
YMF 2	II. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Seminerleri	Bilkent Üniversitesi	1992
YMF 3	III. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Seminerleri	Ankara Üniversitesi	1993
YMF 4	IV Yoğun Madde Fiziği - Ankara Seminerleri	Hacettepe Üniversitesi	30 Kasım 1994
YMF 5	Yoğun Madde Fiziği - Ankara Seminerleri V	Ortadoğu Teknik Üniversitesi	7 Mart 1997
YMF 6	Yoğun Madde Fiziği - Ankara Seminerleri VI	Gazi Üniversitesi	28 Kasım 1997
YMF 7	Yoğun Madde Fiziği - Ankara Seminerleri VII	Bilkent Üniversitesi	30 Kasım 1998
YMF 8	8. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Bilkent Üniversitesi	9 Kasım 2001
YMF 9	9. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Bilkent Üniversitesi	20 Aralık 2002
YMF 10	10. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Hacettepe Üniversitesi	14 Kasım 2003
YMF 11	11. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Gazi Üniversitesi	3 Aralık 2004
YMF 12	12. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Ankara Üniversitesi	18 Kasım 2005
YMF 13	13. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Ortadoğu Teknik Üniversitesi	3 Kasım 2006
YMF 14	14. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Hacettepe Üniversitesi	2 Kasım 2007
YMF 15	15. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Bilkent Üniversitesi	7 Kasım 2008
YMF 16	16. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Gazi Üniversitesi	6 Kasım 2009
YMF 17	17. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Ankara Üniversitesi	5 Kasım 2010
YMF 18	18. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	25 Kasım 2011
YMF 19	19. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Bilkent Üniversitesi	20 Aralık 2013
YMF 20	20. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Hacettepe Üniversitesi	26 Aralık 2014
YMF 21	21. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Gazi Üniversitesi	25 Aralık 2015
YMF 22	22. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Ankara Üniversitesi	16 Aralık 2016
YMF 23	23. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	22 Aralık 2017
YMF 24	24. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Bilkent Üniversitesi	21 Aralık 2018
YMF 25	25. Yoğun Madde Fiziği - Ankara Toplantısı	Hacettepe Üniversitesi	20 Aralık 2019
YMF 2020	YMF 2020 Ankara-İzmir-İstanbul Toplantısı	Çevrimiçi -Ankara Üniversitesi	25-26 Aralık 2020

YMF26 PROGRAMI		
08:45 - 09:00	Kayıt	
09:00 - 09:05	Açılış Konuşması: Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK (Gazi Üniversitesi)	
1. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK (Gazi Üniversitesi)		
09:05 - 09:30	Ç01	Doç. Dr. Yashar AZİZİAN (Gazi Üniversitesi) "Mikroskopi, kuantum optik iletişim ve optik manipülasyon için uygun ışık üretimi"
09:30 - 09:45	S01	Prof. Dr. Cem SEVİK (Eskişehir Teknik Üniversitesi) "İki boyutlu MXene ve MBene kristallerinin fonon aracılı süper iletkenlik özellikleri"
09:45 - 10:00	ARA/ Posterlerin Görülmesi	
2. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAK (Gazi Üniversitesi)		
10:00 - 10:25	Ç02	Doç. Dr. Eyüp DUMAN (Ankara Üniversitesi) "Fe ₆₀ Al ₄₀ ince filmde lazer akısıyla Tip I'den Tip II demanyetizasyon dinamiğine geçişin deneysel gözlenmesi"
10:25 - 10:40	S02	Dr. Öğr. Üyesi İlker DEMİROĞLU (Eskişehir Teknik Üniversitesi) "Makina Öğrenmesi bazlı Gaussian Yaklaşım Potansiyelleriyle Grafenin Termal Genleşme Katsayısı Tayini"
10:40 - 10:55	ARA/ Posterlerin Görülmesi	
3. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Oğuz GÜLSEREN (Bilkent Üniversitesi)		
10:55 - 11:20	Ç03	Dr. Öğr. Üyesi Aşkın KOCABAŞ (Koç Üniversitesi) "Sosyal Davranışların Aktif Madde Özellikleri"
11:20 - 11:35	S03	Buse BUDAK (Bilkent Üniversitesi) "Ayarlanabilir Metamalzemelerin Tasarımı, Fabrikasyonu ve Karakterizasyonu"
11:35 - 11:50	ARA/ Posterlerin Görülmesi	
4. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Mehmet Emre TAŞGIN (Hacettepe Üniversitesi)		
11:50 - 12:15	Ç04	Prof. Dr. R. Tuğrul SENER (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü) "Hibrit Halojen Perovskitlerde Hayli Hareketli Eksitonlar"
12:15 - 12:30	S04	Kutay AKIN (Boğaziçi Üniversitesi) "Skyrmionik Nano-Aygıt Üretimi ve Karakterizasyonu"
12:30 - 14:00	ÖĞLE YEMEĞİ	
5. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Mehmet PARLAK (ODTÜ)		
14:00 - 14:15	S09	Prof. Dr. Sema ÖZTÜRK YILDIRIM (Erciyes Üniversitesi) "Güneş Pili Üretiminde İnce Film Teknolojilerinin Kullanımı"
14:15 - 14:30	S05	İlkin GÖKSAL (Boğaziçi Üniversitesi) "Antiferromanyetik Dizilimin Saf Spin Akımıyla Etkileşimi"
14:30 - 14:45	ARA/ Posterlerin Görülmesi	
6. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Bekir Sıtkı KANDEMİR (Ankara Üniversitesi)		
14:45 - 15:10	Ç05	Dr. Öğr. Üyesi Telem ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi) "Spin-orbit Tork MRAM"
15:10 - 15:25	S06	Ahmet Koral AYKIN (Boğaziçi Üniversitesi) "Nano Desenli Asteroid Geometrisindeki Antivorteks Yapısının Statik ve Dinamik Özellikleri"
15:25 - 15:40	ARA/ Posterlerin Görülmesi	
7. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Ceyhan BULUTAY (Bilkent Üniversitesi)		
15:40 - 15:55	S07	Dr. Öğr. Üyesi Kevser ŞAHİN TIRAŞ (Erciyes Üniversitesi) "Farklı Teknikler Kullanarak Üretilmiş Perovskit Filmlerinin Morfolojisinin ve Güneş Pillerinin Veriminin İncelenmesi"
15:55 - 16:10	S08	Murat MUT (Gazi Üniversitesi) "Atomik Katman Biriktirme Yöntemi ile Corning Gorilla Alttaş Üzerine Üretilen ZnO İnce Filmlerin Tavlama Sonrası Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi"
16:10 - 16:25	ARA/ Posterlerin Görülmesi	
8. Oturum		
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Saime Şebnem AYDIN (Gazi Üniversitesi)		
16:25 - 16:40	S10	Mikail BAHÇECİ (Erciyes Üniversitesi) "Nötrino Bazlı Kuantum Manyetometrelerin Araştırması"
16:40 - 16:55	S11	Hikmet EVLİOĞLU (Erciyes Üniversitesi) "Yüksek Verimli Güneş Enerji Teknolojilerinin İncelenmesi"
16:55 - 17:00	Kapanış Konuşması: Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK (Gazi Üniversitesi)	

ÇAĞRILI KONUŞMALAR

Mikroskopi, kuantum optik iletişim ve optik manipülasyon için uygun ışık üretimi

Yashar Azizian

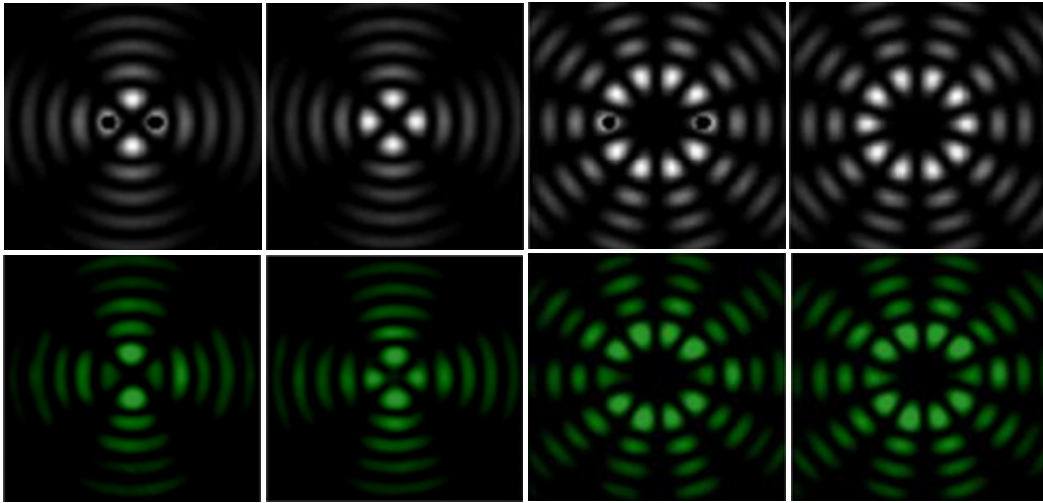
Gazi Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Fotonik Bölümü, 06500, Ankara

Kuantum yapılarının (foton ve elektron) yapısının incelenmesi ve geçen yüzyılın ortalarından beri üzerinde düşünülen bir konu olmuştur. Elektronların ve fotonların yapısını incelemek, ışığın ve elektronların madde ile etkileşiminin çözülmesi gerekmektedir. Bunların madde ile etkileşimini incelemeyen ışığın yapısını, bu ışığı tanımlayan matematiksel fonksiyonun ne olduğunu incelemek çok önemli ve ilginçtir. Başka bir deyişle, bu kuantum yapılar kuantum iletişiminin taşıyıcıları olabilir. Bu bakımdan yapılandırılmış ışığın kullanımı bu amaç için çok iyi bir seçim olabilir. Çünkü ışık çok yüksek bir veri aktarım hızına sahiptir. Optik ve fotonik alanındaki teknolojinin büyümesi ve kuantum ışığı üretme ve algılama olasılığı nedeniyle, fotonlar kuantum iletişimi için iyi bir seçenek olabilir. Yapılandırılmış ışığın kullanılması iletişim kanallarının sayısını artırabilir.

Bu sunumda farklı yapıları ışığın kendi kendini iyileştirme özelliği sunulacaktır.

Boşlukta Maxwell denklemlerinin çözümü "enine" elektromanyetik dalgalarıdır. Başka bir deyişle, dalgaların elektrik ve manyetik alanları dalgaları yaymak için enine bir düzlemde sınırlıdır. Bu nedenle, bu alanların polarizasyonu, enine düzlemde bulunan iki vektörün rastgele vektörünün örtüşmesi ile tanımlanabilir. Düzgün uzaysal polarize ışınlar optikte yaygın olarak kullanılmasına rağmen, uzaysal yapısal polarize ışınlar son yıllarda çok dikkat çekmiştir. Bu tür ışık, enine düzlemde açık alanda difüzyonla ayrılan ve korunan iyi tanımlanmış polarizasyon topolojik yapılarına sahip olabilir. Sıkıştırılmış odak koşulları altında, bu ışınların polarizasyonu üç boyutlu yapılar gösterebilir ve uzunlamasına bir elektrik veya manyetik alana sahip ışınlar yol açabilir. Bu tür yapılar, enine dönme açısal momentum gibi özellikler sergileyebilir.

Konuşmada, ışık ışınlarının polarizasyon yapısındaki son gelişmeler sunulacaktır. Ayrıca, karmaşık kuantum sistemlerini ve kuantum iletişimini simüle eden uygulamalara değinilecektir.



Şekil 1. Yapılandırılmış Bessel ışığı şiddet desenleri

Fe₆₀Al₄₀ ince filminde lazer akısıyla Tip I'den Tip II demanyetizasyon dinamiğine geçişin deneysel gözlenmesi

M. Aslan¹, Ç. Beşe^{1,2}, Z. Tabak¹, T. Bozdağ¹, G. Yağlıoğlu¹, E. Duman³

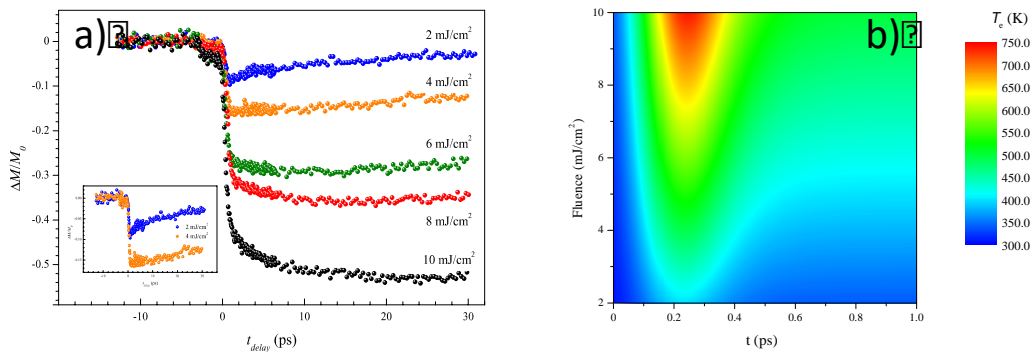
¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara

²Hacettepe Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara

³Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara

Manyetik ince filmlerde lazer ile gerçekleştirilen ultra hızlı demanyetizasyon dinamiğinin anlaşılması, manyetik depolama ve spintronik gibi alanlarda potansiyel uygulamalar nedeniyle manyetizma araştırmalarındaki en zorlu ve sıcak konulardan biridir [1]. Son zamanlarda, FeAl ince filmlerinde lazer ile düzenli-düzensiz kristal yapı geçişi oluşturulmasıyla ferromanyetik durumunun oluşturulup silinebileceği deneysel olarak gösterilmiştir [2]. FeAl ince filminde ultra hızlı lazer darbeleri ile ferromanyetik durumun oluşturulup yok edilebilmesi, bu malzemenin manyetik depolama gibi konularda kullanılabilmesinin önünü açacaktır. Bu tür uygulamalarda manyetik durumların manyetik anahtarlama hızı kritik parametrelerden biridir. Bu nedenle bu çalışmada Fe₆₀Al₄₀ ince filminde oda sıcaklığında demanyetizasyon dinamiklerini araştırmak için zaman çözümü manyeto-optik Kerr ölçümlerini kullandık.

Pompa lazer akısını artırarak aynı malzemede tek adımlı dinamiklerden (Tip I) iki adımlı (Tip II) dinamiğe net bir geçiş gözlemlenmiştir (Şekil 1). Ayrıca 2 sıcaklık modeli (2TM) kullanılarak Fe₆₀Al₄₀ ince filminde, deneyde kullanılan lazer akıları için elektron ve örgü sistemlerinin sıcaklıkları hesaplanmış ve Tip I-Tip 2 geçişinin elektron sisteminin sıcaklığının Fe₆₀Al₄₀'ın Curie sıcaklığının üstüne çıktığı durumlarda gözlemlendiği görülmüştür (Şekil 1b). Bu deneysel gözlem, ultra-hızlı demanyetizasyon sürecinin termal bir süreç olduğuna ve elektron ve spin sistemleri arasındaki sıcaklık farkıyla gerçekleştiğine dair teorik açıklamaların mümkün olabileceğine dair güçlü bir deneysel destek sağlayabilir.



Şekil 1a) Fe₆₀Al₄₀ ince filminde farklı pompa lazer akıları için elde zaman çözünürlüklü demanyetizasyon eğrileri. **b)** 2TM modeline göre değişik pompa lazer darbeleri için Fe₆₀Al₄₀ ince filminde elektron sisteminin sıcaklığının zamanla değişimi

Teşekkür: Bu çalışma 117R017 No'lu proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça:

1. Beaupaire, E. et al.; "Ultrafast Spin Dynamics in Ferromagnetic Nickel", Physical Review Letters, **76**, (1996).
2. Ehrler J. et al.; "Laser-Rewritable Ferromagnetism at Thin-Film Surfaces", ACS Applied Materials and Interfaces **10**, 15232 (2018).

Sosyal Davranışların Aktif Madde Özellikleri

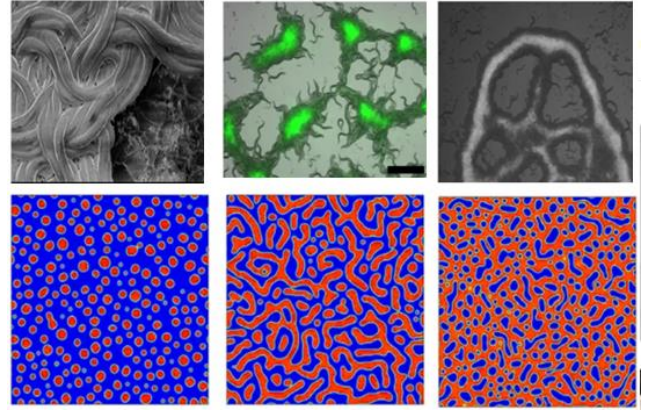
Aşkın Kocabaş

Koç Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34450, İstanbul

Doğadaki canlıların toplu hareketleri, karşılaştıkları zorlayıcı çevresel etkilere karşı bir savunma mekanizması olarak evrimleşmiştir. Bu davranışlar farklı fiziksel ve biyolojik etkileşimler tarafından kontrol edilir ve tek bir canlının oluşturamadığı karmaşık dinamikleri ortaya çıkarır. Özellikle sinir sistemi ve beyin bulunduran organizmaların bu karmaşık grup hareketleri sosyal davranış olarak değerlendirilebilir. Bu noktada fizikçilerin ilgisini çeken temel soru, benzer şekilde yoğun bir etkileşim içerisinde olan gaz, elektron ve atomların gösterdiği yoğun madde özellikleri bu yaşayan maddelerin grup hareketlerini anlayabilmek için kullanılabilir mi?

Bu temel soruya ayrıntılı bir cevap bulabilmek disiplinler arası bir yaklaşım gerektirmektedir. Son zamanlarda geliştirilen aktif madde fiziği bu konuya ümit verici yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Özellikle termodinamik olarak denge halinde olmayan sistemlerin istatistiksel açıdan analiz edilebilmesini sağlayan bu yeni yaklaşımlar grup hareketlerinin anlaşılması için bir çerçeve ortaya koymaktadır. Ancak klasik maddelerden farklı olarak biyolojik sistemlerin karmaşıklığı ve bu sistemlerin kontrol edilmesindeki zorluklar bu yaklaşımların test edilip kullanılmasını zorlaştırmaktadır.

Şu anki laboratuvarımızda, sinir sistemine sahip, temel sosyal davranış gösterebilen ve model bir organizma olan *C. elegans* iplik kurdunun denge halinde olmayan grup hareketlerini, optogenetik ve mikroskop teknikleri kullanarak, anlamaya çalışıyoruz.



Şekil 1: *C. elegans* olarak bilinen iplik kurdunun oluşturduğu karmaşık grup hareketlerinden örnekler. Canlı beslenme sırasında topluca hareket ederek temel bir sosyal davranış sergilemektedir. Bu davranışlar aktif madde dinamikleri kullanılarak modellenmektedir.

Bu çalışmalar sırasında özellikle canlı ve çevresel faktörler arasındaki nonresiprocal etkileşimleri ve bu etkileşimler sayesinde ortaya çıkan faz geçişlerini ortaya çıkarmaya ve bu temel fiziksel olaylarla canlıların grup davranışlarını bağdaştırmaya çalışıyoruz.

Yoğun madde fiziği, temel bilimden teknolojiye kadar birçok alanda çok etkili olmuş ve ortaya koyduğu yeni istatistiksel yaklaşımların biyolojide kullanımı henüz gelişme aşamasında olup, bakteri biyofilmlerinin antibiyotik direncinden, bağırsak florası bozukluğuna kadar birçok yoğun etkileşim halinde olan biyolojik sistemleri ve ortaya çıkan problemleri anlayabilmemize yardımcı olabileceğini öngörmekteyiz.

Bu konuşmada, son zamanlarda bulduğumuz sonuçlar ve bu sonuçların diğer biyolojik sistemlere nasıl aktarılacağı özetlenecek ve yoğun madde fiziği ile biyoloji arasında yeni bir perspektif sunulmaya çalışılacaktır.

Teşekkür: TÜBİTAK ve EMBO tarafından desteklenmiştir.

Hibrit Halojen Perovskitlerde Hayli Hareketli Eksitonlar

R. Tuğrul Senger

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü, 35430, Urla, İzmir

Organik-inorganik hibrit halojen perovskitler (HHP) son on yılda foto-voltaik ve opto-elektronik uygulamaların gözde malzemeleri oldular. Özellikle, yüksek verimli güneş hücreleri bağlamında çalışılan HHP'ler, düşük sıcaklıklarda da ilgi çeken özellikler gösterir.

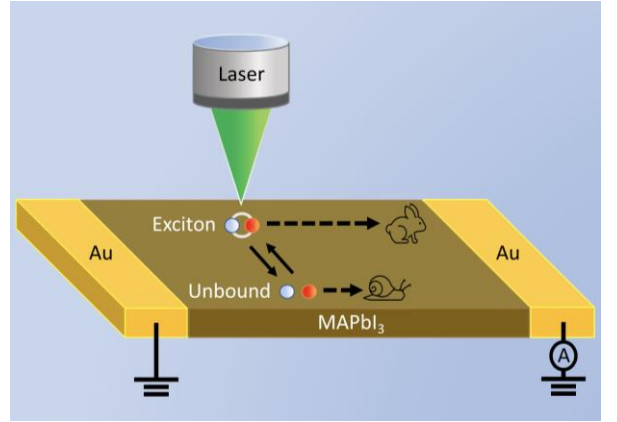
Bu konuşmada, (MA = CH₃NH₃ ve X = I, Br olmak üzere) MAPbX₃ tek-kristal halojen perovskitlerinde, yük taşırların, taramalı foto-akım mikroskopisi yöntemi ile tespit ettiğimiz difüzyon özellikleri ele alınacaktır [1, 2].

Bu kristallerin düşük sıcaklık ortorombik fazında, yük taşırlar için çok uzun difüzyon mesafeleri ölçüldü. Difüzyon mesafeleri MAPbI₃ için 80 K'de 200 µm'ye, MAPbBr₃ için 140 K altında 100 µm'ye varan değerlere ulaşmaktadır.

Bu mertebede uzun difüzyon mesafelerini HHP'de elektron veya deşik taşınımı ile açıklamak mümkün değildir. Önerdiğimiz model, yüksek bağlanma enerjisine sahip eksitonların, düşük sıcaklıklarda popülasyonlarının baskın hale gelmesidir. Elektron ve deşiklerin aksine net elektrik yükü olmayan eksitonlar, boylamsal optik (LO) fononlarla çok daha zayıf etkileşimlerinden uzun difüzyon mesafelerine erişebilirler.

HHP'lerde elektron ve deşiklerin LO fononlarla güçlü etkileşimi, polaronik etkilerin baskın olmasına yol açmaktadır. Bu açıdan eksiton durumları da polaronik-eksiton karakteri kazanmaktadır.

Bu çerçevede, sonlu elemanlar metodunu kullanarak, MAPbI₃ kristallerinde eksiton oluşumu ve taşınımını sayısal olarak analiz ettiğimiz aygıt modelleme hesapları, deneysel ölçümlerle çok uyumlu sonuçlar verdi [2].



Şekil 1: MAPbI₃ mikro-kristalinde yük taşırların difüzyonu ve foto-akıma katkıları için şematik gösterim. Eksiton hareketliliği serbest elektron ve deşiklere göre çok daha büyüktür (Kaynak [2]'den alınmıştır)

HHP'de hesapladığımız, düşük sıcaklık eksiton hareketliliği en az 10⁴ cm²/(V.s) civarında, hayli yüksek değerlere karşılık gelmektedir.

Konuşmada ayrıca, foto-akım spektroskopisi yöntemi ile MAPbBr₃ tek-kristallerinde eksiton bağlanma enerjilerinin hassas ölçümüne örnekler verilecektir.

Teşekkür:

Bu çalışma, Fulbright akademik araştırma bursu desteğiyle gerçekleşmiştir. RTS, Türkiye Fulbright Eğitim Komisyonu'na ve verimli iş birliği için University of California – Davis'ten Prof. Dong Yu'ya teşekkür eder.

Kaynakça

1. L. McClintock, R. Xiao, Y. Hou, C. Gibson, H. C. Travaglini, D. Abramovitch, L. Z. Tan, R. T. Senger, Y. Fu, S. Jin, D. Yu, "[Temperature and Gate Dependence of Carrier Diffusion in Single Crystal Methylammonium Lead Iodide Perovskite Microstructures](#)", Journal of Physical Chemistry Letters, **11**, 1000 (2020).
2. K. W. Tang, S. Li, S. Weeden, Z. Song, L. McClintock, R. Xiao, R. T. Senger, D. Yu, "[Transport Modeling of Locally Photogenerated Excitons in Halide Perovskites](#)", Journal of Physical Chemistry Letters, **12**, 3951 (2021).

Spin-Orbit Tork MRAM

Telem Şimşek

Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve Nanotıp A.B.D., 06800, Ankara

İki ferromanyetik elektrot arasında sandviçlenmiş bir yalıtkan tünel bariyerinden oluşan manyetik tünel eklemleri (MTJ), manyetorezistif rastgele erişim belleklerinin (MRAM) temel bileşenleridir (Şekil 1). Ferromanyetik katmanların mıknatıslanma yönleri paralel olduğunda MTJnin direnci düşükken, ters yönlü olduğunda yüksektir. Düşük ve yüksek direnç durumları, diğer bellek türleri gibi bilgiyi kaydetmek için kullanılabilir [1]. MRAMlerin ölçeklendirilebilmesi için serbest katmanın manyetik alan yerine akımla anahtarlanması gereklidir. MTJlerden katmanlar boyunca geçirilen bu akım, tünel bariyerinden geçerek serbest katmanı anahtarlayacak spin transfer torkunu üretir. Ancak yazma ve okuma akımlarının aynı yolu paylaşması pratikte tünel bariyerinin bozulması gibi pekçok probleme neden olur. Spin-orbit tork MRAMlerde (SOT-MRAM) ise serbest katman, SOT kanalından geçirilen düzlemsel akımın serbest katman ile kanal yüzeyinde indüklediği SOT etkisi kullanılarak anahtarlanır [2]. SOT kaynaklı manyetizasyon anahtarlamasında, yazma akımı tünel bariyerinden geçmediğinden güvenilirlik, dayanıklılık ve ölçeklendirme oldukça iyidir. Ayrıca nanosaniyelerden kısa ve çok düşük güçlü anahtarlama mekanizması ile SOT-MRAMler big data ve IoT gibi uygulamalar için umut vaat eden yeni nesil hafıza birimleridir. Bu çalışma, SOT-MRAM dizaynı, üretimi, optimizasyonu, alansız anahtarlanması ve SOT MRAM ile ilgili yeni trendleri kapsamaktadır.



Şekil 1: MTJ yapısının şematik gösterimi

Kaynakça

1. L. Liu et al., "Current-Induced Switching of Perpendicularly Magnetized Magnetic Layers Using Spin Torque from the Spin Hall Effect", Physical Review Letters, 109, 096602 (2012).
2. T. Şimşek, "Field-Free Spin-Orbit Torque Switching in Magnetic Tunnel Junction Structures With Stray Fields", IEEE Magnetism Letters, 12, 1-5 (2021).

SÖZLÜ SUNUMLAR

İki boyutlu MXene ve MBene kristallerinin fonon aracılı süper iletkenlik özellikleri

Cem Sevik^{1,2}, Mikhail Petrov¹, Jonas Bekaert¹, and Milorad V. Milosevic¹

¹Department of Physics & NANOLab Center of Excellence, University of Antwerp, Groenenborgerlaan 171, B-2020 Antwerp, Belgium

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Eskisehir Technical University, 26555 Eskisehir, Turkey

İki boyutlu (2B) malzemelerin gelecek teknolojik uygulamalar açısından potansiyeli hem teorik hem de deneysel araştırma sonuçları ile açıkça gösterilmiştir. Son zamanlarda, Mo₂C ve Nb₂C gibi iki boyutlu metalik malzemelerin başarılı bir şekilde üretilmesiyle, bu gelecek vaat eden aileye süperilerken katmanlar da eklenmiştir. Bu sistemler üzerine yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar, düşük boyutta görece yüksek geçiş sıcaklığı sergileyen süperiletken malzemelerin ve süperiletken özelliklerin kontrolü için yeni mekanizmaların araştırılması fikirlerine ilham olmuştur.

Bu gelişmelerden hareketle, literatürde MXene ve MBene olarak bilinen iki boyutlu malzemelerin, Eliashberg formülasyonu temelli, geniş kapsamlı hesaplamalar ile fonon aracılı süperiletkenlik özelliklerini araştırdık. İlk olarak yüzey fonksiyonel grubu içermeyen MXene yapıları incelendik ve üç karbür (Mo₂C, W₂C ve Sc₂C) ve üç nitrid (Mo₂N, W₂N and Ta₂N) olmak üzere altı adet süperiletken malzeme belirledik. Bu gruptan W₂N malzemesi için, süperilerken durumu ile rekabet eden yük-yoğunluğu fonksiyonu varlığı gösterdik [1]. Devamında yapılan yüzey fonksiyonel grubu etkisi çalışmalarında, yüzeyleri H ile kaplı MXene kristallerinin süperiletkenlik geçiş sıcaklıklarının iki kata kadar arttırılabileceğini saptadık [2].

Diğer bir iki boyutlu malzeme ailesi olarak, çeşitli metal elementlerle katkılı bir bor petek ağından oluşan iki boyutlu metal borür kristallerini sistematik olarak araştırdık. MBene adı verilen bu tür bileşiklerin izotropik Eliashberg hesaplamaları yoluyla süper

iletkenlik potansiyelini Tablo I de görüldüğü gibi belirledik. Daha sonra, yüksek potansiyeli olan seçili sistemler için anizotropik Eliashberg denklemlerini çözerek ayrıntılı bir analiz yaptık. Elde edilen yüksek kritik sıcaklıklar (72 K'ye kadar) ve zengin çok aralıklı süper iletken davranış, bu kristallerin çok işlevli 2D heteroyapılarda ve gelecek süperiletken cihaz uygulamalarında kullanım potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu açıkça ortaya koymaktadır [3].

Metal	a (Å)	N_F (eV ⁻¹ uc ⁻¹)	v_F (10 ⁶ ms ⁻¹)	λ	ω_{ln} (K)	T_c (K)
MB ₄ monolayers						
Be	2.968	0.555	0.466	1.212	371	29.9
Mg	3.007	0.716	0.678	0.808	573	22.2
Ca	3.075	1.336	0.484	1.196	457	36.1
Sc	3.080	1.100	0.324	0.714	371	10.4
Al	2.991	0.996	0.527	0.911	615	30.9
MB ₂ monolayers						
Mg	3.044	0.973	0.606	0.65	555	11.6
Ca	3.220	2.523	0.277	1.67	360	41.6
Sc	3.176	3.332	0.201	1.06	308	20.4
Zr	3.152	1.455	0.211	0.67	125	2.9
V	3.064	2.661	0.219	2.70	50	8.3
Nb	2.997	3.436	0.191	2.23	245	35.5
Ta	3.002	2.153	0.318	0.75	220	7.1
Cr	3.128	3.302	0.311	1.68	36	4.5
Re	2.882	1.252	0.408	0.55	215	2.4
Al	2.981	1.186	0.680	1.40	98	9.8
M ₂ B ₂ monolayers						
Mg	3.104	0.749	0.665	0.486	498	3.2
Re	2.916	1.285	0.317	1.088	81	5.5

Tablo 1: Çalışmada incelenen tüm Mbene yapıları için hesaplanan kafes sabiti (a), Fermi seviyesinde elektronik durum yoğunluğu (N_F), ortalama Fermi hızı (v_F), e -ph eşleşmesi (λ), fonon frekanslarının logaritmik ortalaması (ω_{ln}) ve Allen-Dynes süper iletken geçiş sıcaklığı (T_c).

Teşekkür: Bu çalışma 118F187 no'lu TÜBİTAK-COST projesi ile desteklenmiştir.

Kaynakça

1. J. Bekaert, C. Sevik, and M. V. Milosevic, "First-principles exploration of superconductivity in MXenes", *Nanoscale*, 12, 17354 (2020).
2. C. Sevik, M. Petrov, J. Bekaert, and M. V. Milosevic, "High-temperature multigap superconductivity in two-dimensional metal-borides", *Physical Review Materials*, Submitted.
3. J. Bekaert, C. Sevik and M. V. Milosevic, "Enhancing and inducing superconductivity in MXenes by hydrogenation", In preparation.

Makina Öğrenmesi bazlı Gaussian Yaklaşım Potansiyelleriyle Grafenin Termal Genleşme Katsayısı Tayini

İlker Demiroğlu¹, Yenal Karaaslan², Tuğbey Kocabaş³, Murat Keçeli⁴,
Álvaro Vázquez-Mayagoitia⁴, and Cem Sevik²

¹Department of Advanced Technologies, Eskişehir Technical University, Eskişehir, TR 26555, Turkey.

² Department of Mechanical Engineering, Eskişehir Technical University, Eskişehir, TR 26555, Turkey.

³ Department of Materials Science and Engineering, Institute of Graduate Programs, Eskişehir Technical University, Eskişehir, TR 26555, Turkey.

⁴ Computational Science Division, Argonne National Laboratory, Lemont, IL 60439, USA.

Sürekli daha da ufak boyutta elektronik cihazlar yapılmasına yönelik güncel teknolojik baskı göze alındığında, ana bileşenlerini oluşturan iki boyutlu (2D) malzemeler ve bu malzemelerin termal özellikleri, cihaz performansı, verim, güvenlik, ve uzun ömürlülük bakımlarından kritik öneme sahip olmaya başlamıştır. 2D malzemelerin öncüsü konumunda olduğundan grafen, yeni nesil cihaz teknolojilerinde kullanılmak üzere çok yoğunlukla çalışılmaktadır. Bu bağlamda grafenin termal özellikleri önem kazanmakta ve bu hususta geniş kapsamlı bir anlayışın ortaya çıkarılması termal genleşmenin kontrol edilmesi ve üstün cihazlar tasarımı için elzemdir. Fakat, 2D malzemeler için termal genleşme katsayılarının altta etkilerinden bağımsız bir şekilde doğrudan deneysel tayini çok

zor olmakla birlikte isabetli bir şekilde büyükboyutlu ilk prensip moleküler dinamik yöntemlerle tahmini hesaplamasal olarak çok pahalıdır. Dolayısıyla, en çok çalışılan 2D malzeme olmasına rağmen grafen için bile literatürde hem teorik hem de deneysel çalışmalarda raporlanan termal genleşme katsayılarında uyumsuzluk vardır. Grafenin termal genleşme katsayısının belirlenmesindeki bu belirsizlikten motivasyonla ve makina öğrenmesi metotlarında son zamanlardaki gelişmelerin büyük boyutlu sistemlerin hesaplanmasına izin vermesinden faydalanarak bu çalışmada grafenin termal genleşme katsayısını Gaussian Yaklaşım potansiyeli (GAP) türü makina öğrenmesi metoduyla hesapladık.

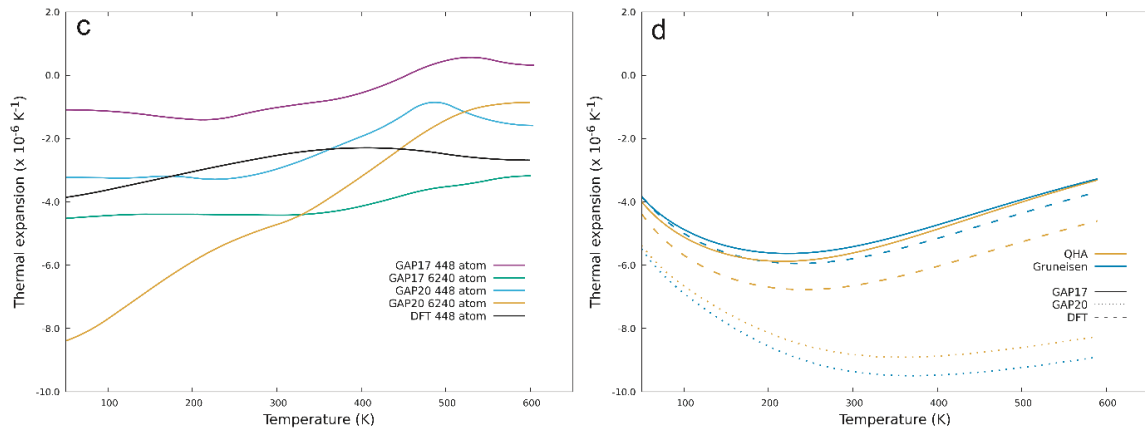


Figure 1: Calculated thermal expansion coefficients by MD, QHA and Grüneisen methods with GAP and DFT.

Fonon frekanslarının birbir karşılaştırılmasıyla GAP modellerinden özellikle de GAP17 modelinin grafenin örgü dinamiklerini isabetli şekilde yakaladığı görülmüştür. Dolayısıyla Grüneisen çerçevesi ile hesaplanan termal genleşme katsayısı ilk prensip yoğunluk fonksiyoneli (DFT) sonuçlarına en yakın bulunmuştur. Buna karşın, kuasi-armonik yaklaşım (QHA) ile hesaplanan termal genleşme katsayılarında titreşim frekanslarının seçilen gerilim aralığı limitlerinde

lineer olmayan davranışlarından kaynaklı farklılıklar görülmektedir. Moleküler dinamik sonuçları ise GAP17 modelinin grafenin negative termal genleşme davranışının kaynağını DFT hesapları ile aynı yakalayabildiğini ortaya çıkarmaktadır. Negatif termal genleşme durumu, C-C bağları sıcaklıkla artmasına rağmen, grafenin düzlemdışı titreşimleri (ZA modu) sonucunda gerçekleşen dalgalanma hareketinden kaynaklanmaktadır.

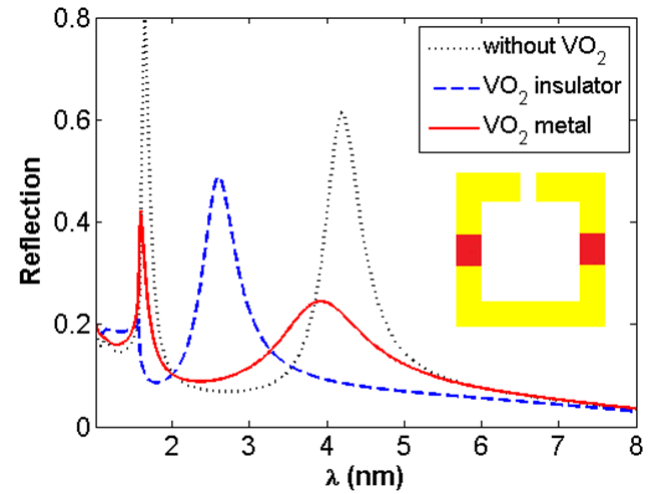
Ayarlanabilir Metamalzemelerin Tasarımı, Fabrikasyonu ve Karakterizasyonu

Buse Budak^{1,2}, Hakan Ates², Mutlu Gokkavas¹, Seval Donertas¹, Ekmel Ozbay¹¹Bilkent Üniversitesi, Nanotam, Ankara²Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 06500, Ankara

Metal bazlı metamalzemeler, dielektrik bir arka plana gömülü alt dalga boyu boyutlarına sahip metalik bileşen dizilerinden oluşan yapay yapılardır. Bu yapılar ilk girişimlerden sonra ortaya çıkmıştır. [1] Frekans seçici yüzeylerde [2] dönüşüm optiklerinde, kaplamalarda [3], negatif indeksli malzemeler ve süper merceklemeye [4] gibi uygulamalar için yoğun araştırmalara konu olmaktadır. Bölünmüş halka rezonatörleri (SRR'ler), fabrikasyon ve modelleme kolaylıkları nedeniyle birçok metal bazlı metamalzeme tasarımının temel unsurlarıdır. Her SRR'in çentikte yük birikmesinden kaynaklanan dağıtılmış bir endüktans, L ve kapasitans, C'ye sahiptir. Malzeme seçimi ve rezonatör boyutları bu iki parametreyi belirler ve metamalzemenin rezonans frekansını belirler [2].

Diğer yandan, metal bazlı metamalzeme, ayarlanabilir elektriksel veya optik özelliklere sahip malzemelerin entegre edilmesiyle tasarlanan ve üretilen aktif metamalzemelerdir. Bunların rezonans tepkileri daha fazla kontrol edilebilmektedir. Optik olarak ayarlanabilen bir yarı iletken kullanarak SRR boşluğundaki kapasitansı değiştirerek, rezonansları birinci moddan ikinciye değiştirmek mümkündür [5]. Aktif SRR metamalzemeleri için örnek bir geometri olarak [5] 'te gösterilen rezonatör geometrisini VO₂'nin faz geçişi ile kontrol ederek yakın-IR(infrared spektroskopisi) 'deki metamalzeme tepkisini ayarlamak için kendinden hizalı, hibrit Ag / vanadyum oksit (VO₂) SRR çift tabakaları tasarlanmış ve üretilmiştir [6]. Vanadyum oksit metalini doğrudan ısıtarak ya da optik değişimler yapılarak yalıtkan monoklinikten metalik rutile faz geçişi sağlar. Yapısal faz geçisinden kaynaklanan karmaşık kırılma indisinde de değişiklik sergileyen bir malzemedir. Burada, üretilen VO₂ numunemizin DC direnci, taşıyıcı yoğunluğu ve taşıyıcı kütesinin ölçülen değerlerini kullanarak, orta-IR çalışan aktif

SRR metamalzemeleri tasarlıyoruz. Tasarımımızın üstten görünümü, Şekil 1'in ekinde şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1: VO₂'nin bulunmadığı altın SRR dizisi (noktalı-siyah) ve VO₂'nin varlığı (kesikli mavi yalıtkan fazı ve katı-kırmızı metal fazı) için yansımaları görülmektedir. İç metinde, dikkate alınan yapıların birim hücre şematik olarak gösterir. Boşluğun genişliği ve SRR'nin kolları 100 nm, kolların uzunluğu 460 nm, birim hücre boyutu 900x900 nm² ve altının kalınlığı 70 nm'dir. Düzlem dalgası olayı simülasyondaki SRR kollarına dik elektrik alanı dizisidir.

Beklendiği gibi, VO₂'nin bulunmadığı SRR eğrisi, elektrik ve manyetik rezonanslara karşılık gelen yansıma spektrumunda iki keskin tepe sergiler. VO₂ yalıtkan fazında (T=20°C) düşündüğümüzde, kesikli mavi eğrinin rezonansları, noktalı-siyah eğrilere kıyasla daha düşüktür ve maviye kayar. Öte yandan, sıcaklığın 80°C'ye yükseltilmesi ve VO₂'nin metale fazının değişmesi durumunda, Şekil 1'de gösterilen düz-kırmızı eğriden bu rezonansların yalıtkan rezonanslara kıyasla daha düşüktür ve kırmızıya kayması görülmektedir.

Kaynakça

1. V. G. Veselago, “The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of permittivity and permeability,” *Sov. Phys. Usp.* 10, 504–509 (1968).
2. S. Linden, C. Enkrich, M. Wegener, J. F. Zhou, T. Koschny, and C. M. Soukoulis, “Magnetic response of metamaterials at 100 terahertz,” *Science* 306 (5700), 1351–1353 (2004).
3. W. S. Cai, U. K. Chettiar, A. V. Kildishev, and V. M. Shalaev, “Optical cloaking with metamaterials,” *Nat. Photonics* 1(4), 224–227 (2007).
4. K. Aydina, I. Bulu, and E. Ozbay, “Subwavelength resolution with a negative-index metamaterial superlens,” *Appl. Phys. Lett.* 90, 254102 (2007).
5. Nian-Hai Shen, Maria Massaouti, Mutlu Gokkavas, Jean-Michel Manceau, Ekmel Ozbay, Maria Kafesaki, Thomas Koschny, Stelios Tzortzakis, and Costas M. Soukoulis, “Optically Implemented Broadband Blueshift Switch in the Terahertz Regime,” *Phys. Rev. Lett.* 106, 037403 (2011).
6. Matthew J. Dicken, Koray Aydin, Imogen M. Pryce, Luke A. Sweatlock, Elizabeth M. Boyd, Sameer Walavalkar, James Ma, and Harry A. Atwater, “Frequency tunable near-infrared metamaterials based on VO₂ phase transition,” *Opt. Exp.* 19, 18330 (2009).

Skymiyonik Nano-Aygıt Üretimi ve Karakterizasyonu

Kutay Akın¹, Ege Selvi¹, İlkin Göksal¹, Mohammad Hassan Ramezan Zadeh¹, Bayram Kocaman^{1,2}, Hasan Pişkin¹, Özhan Özatay¹

Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34342, İstanbul

²Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt

Gerek altlarında yatan kristal örgü gerekse arayüz özelliklerine bağlı farklı simetrieri içeren skymiyonlar Néel ve Block tipi olarak iki ana sınıfa ayrılırlar. Moore yasasının sınırlarına yaklaşımla hızlı işlem ve kompakt iletişime sürekli artan talebin CMOS devreler ile karşılanamayacağı anlaşılınca dengelenemeyen talep düşük güç ile radyo dalgası bandında salınımı tetiklenebilen çapları nanometre mertebesinde olan skymiyonik yapılar için bir fırsat alanı oluşturmuştur. Bu topolojik yapılar, oluşturulabilen, yok edilebilen, hareket ettirilebilen hatta farklı dinamik modları uyarılabilen parçacıklar gibi davranmak suretiyle gerek bilgi teknolojileri gerekse mantık devreleri için uygulama potansiyellerine sahiptirler.

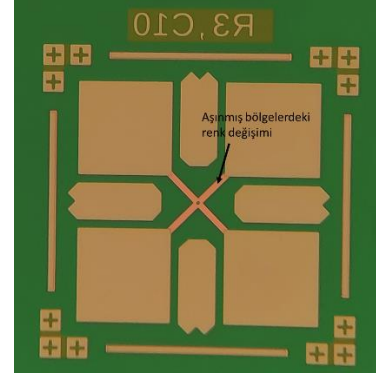
Daha önce yapılan çalışmalarda sıfır dış manyetik alanda kararlı yapıya ulaştıkları gözlemlenen [1] Néel tipi skymiyon, at nalı ve örümcek ağı gibi skymiyonik yapıların elektriksel bağlantılarının oluşturulabilmesi için gerekli karakterizasyonların yapılması, dinamik özelliklerinin belirlenmesi, analitik ve mikromanyetik modellerle uyumunun değerlendirilmesiyle bu konudaki literatürün geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla çok katmanlı manyetik ince filmlerin çapları 200 nm' den 1 µm' ye kadar değişen nano-sütunların desenlenmesiyle elde edilen skymiyonik yapıları barındıran serbest katman, değiş-tokuş anizotropisiyle sabit katman ve ara bölmesi manyetik olmayan bir metalden oluşan bir spin vanası sistemi tasarlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma 118F428 nolu proje ile TÜBİTAK ve 20B03M4 proje koduyla Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. V. Karakaş, A. Gökçe, A. T. Habiboğlu, S. Arpacı, K. Özbozduman, İ. Çınar, vd., "Observation of Magnetic Radial Vortex Nucleation in a Multilayer Stack With Tunable Anisotropy", Scientific Reports, **8**, 7180 (2018).
2. J. Feng, H. F. Liu, H. X. Wei, X.-G. Zhang, Y. Ren, X. Li, Y. Wang, J. P. Wang, X. F. Han, "Giant Perpendicular Exchange Bias in a Subnanometer Inverted (Co/Pt)_n/Co/IrMn Structure", Physical Review Applied, **7**, 054005 (2017).



Şekil 1: Elektriksel yalıtım tabakası üretimi öncesi eksiltici metot ile hazırlanmış alt ve üst kontaklı cihaz yapısı.

Egzotik spin yapılarının bulunduğu serbest katmanlar üzerinde maksimum spin tork etkisini oluşturabilmek için düzlem içi anizotropiye sahip Ni₁₉Fe₈₁ (3-5nm) /Ir₂₀Mn₈₀ (5-15nm) ve düzleme dik anizotropiye sahip (Co (0.5nm) /Pt(1nm))₄/Co(0.5nm) /Ir₂₀Mn₈₀ (10nm) [2] ince filmlerinin değiş-tokuş anizotropisinin film kalınlıkları, manyetik alan içinde ısıl işlem ve manyetik alan içinde soğutma işlemleri üzerinden optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Belirlenen sabit katman yapısının ardından DC magnetron saçtırma ve elektron demet buharlaştırma yöntemleri kullanılarak biriktirilen ince film yapısı eksiltici metot kullanılarak nano-sütun deseni formuna getirilmiştir. Nano-sütunların bir kısmı manyetik güç mikroskobu ölçümleri için ayrılırken bir kısmından kontaklı yapılar inşa edilmiştir. Elde edilecek aygıtlarla skymiyonların radyo frekans mertebesinde dinamik rezonans modlarının belirlenmesi ve söz konusu davranışın gerek dış manyetik alan gerekse elektrik akımıyla kontrol edilebilirliğinin araştırılması mümkün olacaktır.

Antiferromanyetik Dizilimin Saf Spin Akımıyla Etkileşimi

İlkin Göksal¹, Vedat Karakaş¹, Kutay Akın¹, Ege Selvi¹, Mohammad Hassan Ramezan Zadeh¹,
Bayram Kocaman^{1,2}, Hasan Pişkin¹, Özhan Özatay¹

¹Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34470, İstanbul

²Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt

Elektronların sadece yükleri değil aynı zamanda spin özelliklerinden de faydalanılmasını amaçlayan spin elektronğinde geleneksel olarak ferromanyetik (FM) ince filmler kilit bir rol oynamıştır. Bunun temel sebebi manyetik dizilimin gerek dış manyetik alan gerekse spin tork etkisi yoluyla kolay manipüle edilebilmesi ve elde edilen dizilimin magneto-direnç etkileriyle tespit edilebilmesidir. Buna karşılık Antiferromanyetik (AFM) malzemelerin toplam manyetik momentleri sıfır olduğundan dışarıdan uygulanan yüksek manyetik alanlara duyarlı olmadıkları gibi moment dizilimlerinin görüntülenmesi de nötron kırınımı veya X-ışını manyetik dairesel dikroizm gibi ileri laboratuvar teknikleri gerektirmektedir.

Bir ağır metal ince film tabakasından geçen elektrik akımının spin Hall etkisiyle üzerindeki FM veya AFM katmana arayüze dik yönde ilettiği saf spin akımının lokal momentlerle etkileşmesinin bir sonucu olan spin-yörünge torku bu katmandaki manyetik momentlerin akımla manipüle edilmesine imkân sağlamaktadır [1,2]. Bu etki sayesinde uzun yıllardır ilginç ama kullanışsız olduğu düşünülen antiferromanyetik malzemelerin aslında doğrudan elektrik akımıyla manyetik yönelimlerinin değiştirilebilmesinin mümkün olduğu ve anizotropik veya tünelleme anizotropik magneto-direnç etkileriyle durum tespiti sağlanarak spintronik aygıtlara uygulanabilirliğin olduğu anlaşılmıştır.

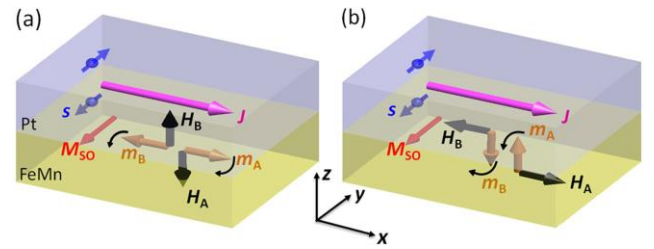
Spin yörünge torku temelli cihazlar genellikle iki tabakalı AFM/ağır metal ve FM/ağır metal yapısında üretilmektedirler (Şekil 1).

Teşekkür:

Bu çalışma 118F116 nolu proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. Miron, I.M et al, "Perpendicular switching of a single ferromagnetic layer induced by in-plane current injection", *Nature*, **476**, 189-193(2011).
2. Han et al. 2016, "Spin Hall effect assisted Electro-Resistance in AFMs via $10(5) A/cm(2) dc$ Current", *Scientific Reports*, **6**, 31966 (2016)



Şekil 1: Antiferromanyetik sistemlerde manyetik momentlerin spin-yörünge torku kullanılarak manipüle edilmesi [2].

Bu ikili sisteme bir akım uygulandığında, ağır metal içerisinden geçen serbest elektronların spinleri bu ağır metal tabakasının kenarlarında ve yüzeylerinde polarize olmaktadır. Bu sayede ağır metalin hemen bitişiğinde bulunan AFM ve FM malzemelerin manyetik momentlerine bir tork uygulanarak manipülasyonları yapılabilmektedir. Bu etkinin sonuçları malzeme direncindeki değişimden gözlenebilmektedir.

Bu çalışmada iki tabakalı IrMn/ağır metal ve FeMn/ağır metal yapılarındaki AFM (IrMn, FeMn) malzemelerin kalınlıkları sistematik olarak değiştirilerek spin yörünge torku etkileri ve cihaz uygulamalarındaki potansiyelleri araştırılmıştır. Ağır metal olarak ise sırasıyla pozitif ve negatif spin Hall açılarına sahip olan Pt ve Ta kullanılmıştır. Çalışmalarımız bu etkinin en hassas şekilde gözlemlenmesi ve artırılarak uygulama haline getirilebilecek standarda gelmesi için devam etmektedir.

Nano Desenli Asteroid Geometrisindeki Antivorteks Yapısının Statik ve Dinamik Özellikleri

Ahmet Koral Aykın¹, Hasan Pişkin¹, Bayram Kocaman^{1,2}, Vedat Karakaş, Özhan Özatay¹

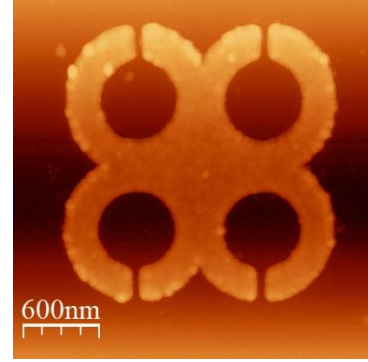
¹Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34342, İstanbul

²Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt

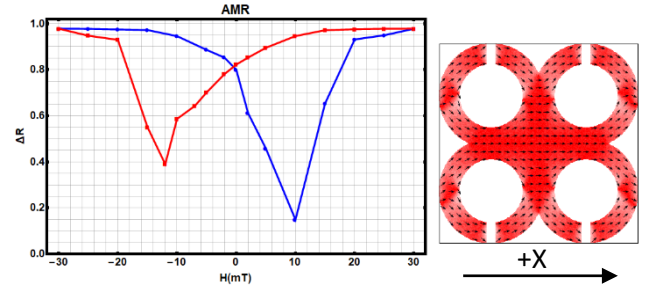
İnce film şeklindeki ferromanyetik (FM) materyallerde en düşük enerji durumunda oluşan antivorteks mikromanyetik yapıları merkezde mıknatıslanmayı düzlem dışına zorlayarak bir çekirdek oluşturur. Antivorteks çekirdek davranışlarının ikili (binary) olarak kodlanabilmeleri yeni nesil veri depolama cihazları üretimine de imkân sağlamaktadır. Bu nedenle antivorteks yapısının kararlı olarak oluşturulması, yok edilmesi ve manipülasyonun gerçekleştirilmesi spintronik temelli cihaz uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada 20 nm tabaka kalınlığına sahip FM NiFe malzemesi kullanılarak, asteroid olarak adlandırılan özel bir geometri tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1 ve 2). Antivorteks yapısının asteroid şeklinde desenlenmiş nano mıknatıslarda oluşturulması, yok edilmesi ve manyetik alan ile manipülasyonuna çalışılmıştır. Ayrıca, yapılan mikromanyetik simülasyonlardan elde edilen bilgilerle manyetik kuvvet mikroskobundan elde edilen görüntüler karşılaştırılmıştır.

Literatürde, antivorteksin topolojik olarak karşıt yapısı olan vorteksin anizotropik manyeto direncindeki (AMR) değişim ile sınıflandırabileceği gösterilmiştir [1]. Ayrıca, sıcaklığın ve x eksenini boyunca uygulanmış manyetik alanın bir fonksiyonu olarak yapılan simülasyonlardan elde edilen AMR değerleri ile deneysel olarak elde edilen AMR değerlerinin karşılaştırılması sonucunda antivorteks'in oluşturulması, yok edilmesi ve manipülasyonu gözlemlenecektir.



Şekil 1: Asteroid geometrisinin Atomik Kuvvet Mikroskobu görüntüsü.



Şekil 2: Asteroid geometrisinin 100K sıcaklığında +X yönünde simüle edilmiş AMR grafiği ve 30mT manyetik alan altındaki mıknatıslanma konfigürasyonu.

Çalışmamızın bir sonraki adımında, NiFe üzerine biriktirecek bir ağır metalden kaynaklanan düzleme dik saf spin akımıyla antivorteks yapısının etkileşimi sonucu tetiklenecek dinamik modların manyetik alana bağlı davranışı incelenecek ve asteroid nano-aygıtların spin tork RF üretici olarak potansiyeli değerlendirilecektir.

Teşekkür: Bu proje 113F378 No'lu proje kapsamında TÜBİTAK ve 16B03P5 proje koduyla Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. S. Lendinez, T. Polakovic, J. Ding, B. Jungfleisch, J. Pearson, A. Hoffmann, V. Novosad, "Temperature-Dependent Anisotropic Magnetoresistance and Spin-Torque-Driven Vortex Dynamics in a Single Microdisk", Journal of Applied Physics, **127**, 243904 (2020)

Farklı Teknikler Kullanarak Üretilmiş Perovskit Filmlerinin Morfolojisinin ve Güneş Pillerinin Veriminin İncelenmesi

Kevser Sahin Tiras¹, Markus Wohlgenannt², Fatima Toor³

¹Department of Physics, Erciyes University, Kayseri, TURKEY

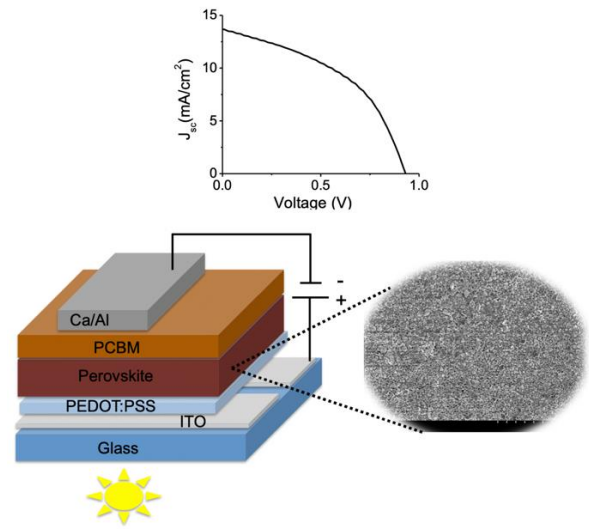
²Department of Physics & Astronomy, University of Iowa, IA, USA

³Department of Electrical and Computer Engineering, University of Iowa, IA, USA

Perovskitlerden üretilmiş güneş pilleri son zamanlarda büyük ilgi görmektedir. Farklı üretim teknikleri kullanılarak verim ve yüzey morfolojisinde iyileştirmeler yapılmıştır [1,2,3]. Bu çalışmada üç farklı perovskit filmi oluşturma tekniğini incelendi; tek aşamalı, iki aşamalı çözelti hazırlama ve çözelti destekli buhar biriktirme. Yüzeyin morfolojisi ve perovskit kristalinin tane boyutu, esas olarak kurşun iyodür (PbI₂) tabaka kalınlığı ve metilamonyum iyodür (MAI) konsantrasyon oranından etkilenmiştir. Her üretim tekniği için, perovskit filmlerin absorpsiyon spektrumu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri değerlendirildi. Bu teknikler dahilinde güneş pillerinin güç dönüşüm verimliliğini (PCE) ölçüldü. İki aşamalı çözelti biriktirme tekniği ile yapılan cihaz, diğer perovskit biriktirme teknikleri kullanılarak hazırlanan güneş pilleri arasında en yüksek verimi göstermiştir.

Tablo 1: Farklı elektron transport materyalleri ile üretilmiş güneş pillerinin özeti.

ETM	PCE (%)	FF (%)	J _{sc} (mA/cm ²)
Pb(SCN) ₂ /PCBM	0.12	27.0	2.09
PCBM	0.17	32.3	3.15
Pb(SCN) ₂ /C ₆₀	0.16	57.0	0.58
C ₆₀	0.09	29.6	1.73



Şekil 1: Güneş pilinin yapısı, perovskit filminin SEM görüntüsü, J-V grafiği.

Şekil 1’de %6 verime sahip 30 mg/mL MAI and 180 nm perovskit kalınlığı olan iki aşamalı çözelti hazırlama tekniğiyle üretilmiş güneş pilinin J-V grafiği ve perovskit filminin SEM görüntüsü verilmiştir. Hücre performansını iyileştirmek için, süreç ve kontak mühendisliği gibi iyi bilinen cihaz mühendisliği yöntemlerinden bazılarını da kullanıldı. Tablo 1, farklı elektron transport materyallerini kullanarak üretilmiş güneş pillerinin bazılarının özeti vermektedir.

Teşekkür: Bu çalışma Iowa Energy Center Grant No. OG-16-019 tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. Jun Xi et al., “Controlled thickness and morphology for highly efficient inverted planar heterojunction perovskite solar cells”, *Nanoscale*, 7(24):10699–10707 (2015).
2. Jeong-Hyeok Im et al., “Growth of ch₃nh₃pbi₃ cuboids with controlled size for high-efficiency perovskite solar cells”, *Nature nanotechnology*, 9(11):927–932 (2014).
3. Nam Joong Jeon et al., “Solvent engineering for high-performance inorganic–organic hybrid perovskite solar cells”, *Nature materials*, 13(9):897– 903 (2014).

Atomik Katman Biriktirme Yöntemi ile Corning Gorilla Alttaş Üzerine Üretilen ZnO İnce Filmlerin Tavlama Sonrası Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi

Murat Mut¹, Hakan Ateş²

¹Gazi Üniversitesi, İleri Teknolojiler, 06500, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 06500, Ankara

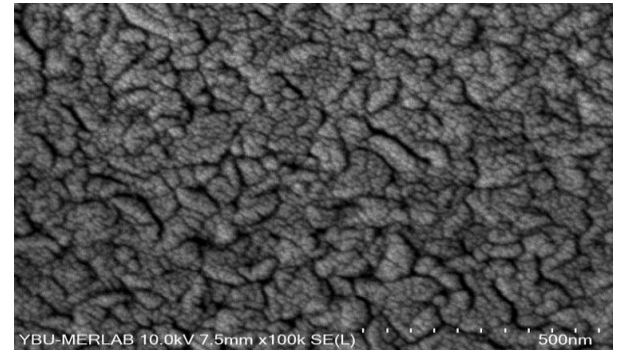
Çinko oksit (ZnO), bilim ve endüstride uygulanan üstün özellikleri nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmiştir [1].

Oda sıcaklığında 3,37 eV'lik geniş ve doğrudan bant aralığı, büyük eksiton bağlama enerjisi, yüksek taşıyıcı hareketliliği ve diğer kullanışlı özellikler, ZnO'yu güneş hücresi, süper kapasitörler, piezoelektrik, UV fotodetektörler, diyotlar, esnek ve gözenekli 3-D seramikler, fonksiyonel yüzey kaplama ve sensörler gibi çok çeşitli cihazlar için uygun hale getirir. [1]. Atomik katman biriktirme (ALD), katman katman biriktirme, ortam gazları için ultra düşük geçirgenlik oranları sayesinde passivasyon tabakaların biriktirilmesi için kullanılabilir etkili bir alternatiftir [2].

Bu çalışmada ALD ile 200°C sıcaklıkta ayarlanan döngü hızı ile sisteme Diethylzinc (DEZ, Zn(C₂H₅)₂) çözeltisi göndererek işleme başlanılmıştır. Bu döngülerde, işlem dizisi hem Diethylzinc hem de H₂O için 0.015 s (saniye) olarak ayarlaması yapıldı. İşlem sırasında azot gazı (N₂) akış hızı reaksiyon odasında 20 sccm olarak ayarlandı. Corning Gorilla Glass üzerine ZnO kaplanan filmin biriktirme parametreleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: ZnO filmlerin biriktirme parametreleri

Numune	Öncül Gönderimi (ms)	Temizleme (s)
ZnO	15-15	30-30



Şekil 1: 500°C'de tavlanan ZnO ince filminin yüzey SEM görüntüsü

Biriktirilen film 300°C, 400°C, 500°C ve 600°C'de tavlama sıcaklığına göre yapıdaki değişim X-ışınımı Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) ile incelenmiştir. Tavlama sıcaklığına göre ZnO filmlerin wurtzit yapıda kristallendiği, (100) düzleminde tavlama sıcaklığına bağlı olarak pik şiddetinin arttığı görülmüştür (ICDD:36-1451). Şekil 1'de görülen Corning Gorilla Glass üzeri ZnO ince filminin 500°C 'de tavlama sonucu elde edilen yapıda diğer tavlama sıcaklıklarına göre daha büyük ve tane sınırları ortadan kalkarak yapısal olarak birbiri ile birleşen yapıların varlığı gözlemlenmiştir.

Kaynakça

1. Bedrouni, M., Kharroubi, B., Ouerdane, A., Bouslama, M. H., Caudano, Y., Bensassi, K. B., ... & Abdelkrim, M., "Effect of indium incorporation, stimulated by UHV treatment, on the chemical, optical and electronic properties of ZnO thin film", *Optical Materials*, **110560** (2021).
2. Chen, X., Wan, J., Wu, H., & Liu, C. "Effective encapsulation of ZnO thin film transistors controlled by thermal energy", *Applied Surface Science*, 548, **149253** (2021).

Güneş Pili Üretiminde İnce Film Teknolojilerinin Kullanımı

Sema Öztürk Yıldırım¹, Hikmet Evlioğlu¹

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 38039, Kayseri

Enerjiye olan gereksinim ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır. Dünyada ve ülkemizde yüksek verimli, düşük maliyetli ve uzun ömürlü güneş pillerinin üretimi için çalışmalar devam etmektedir. İnce film güneş pili üretiminde amorf silikon (α -Si), bakır indiyum galyum selenit (CIGS), ve kadmiyum tellür (CdTe) teknolojileri ilk sıralarda yer almaktadır. CIGS'nin modül verimlilikleri ve CdTe teknolojileri, kristal güneş pilleri ile rekabet edebilecek düzeydedir. Güneş pili üretim maliyetinde üç önemli unsur dikkat çekmektedir. Bunlar; verimlilik, azaltılmış malzeme kullanımı ve üretim teknolojisinin kolaylığıdır.

Günümüzde kristal silikon ile yapılan araştırma çalışmalarının ticari entegrasyonu çok başarılı olmuştur. Kristal silikon dünyada küresel fotovoltaik güneş pilleri (PV) pazarının %90'ını oluşturmaktadır [1-2].

Çalışmamızda α -Si, CIGS ve CdTe ince filmlerinin verimlilik, malzeme kullanımı ve üretim teknolojilerine ilişkin karşılaştırmalı analizleri yapılacaktır.

Kaynakça

1. K.L. Chopra, P.D. Paulson, V. Dutta, "Thin-film solar cells: An overview", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, **12**(2), 69 - 92 (2004).
2. D. L. Taesoo, U. A. U.Ebong, "A review of thin film solar cell technologies and challenges", Renewable and Sustainable Energy Reviews, **70**, 1286-1297 (2017).

Nötrino Bazlı Kuantum Manyetometrelerin Araştırması

Mikail Bahçeci¹, Sema Yıldırım¹

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 38039, Kayseri

Nötrinolar atom altı parçacıklardır. Nötrinoların varlığı teorik ve deneysel olarak kanıtlanmıştır. Son yıllarda nötrino algılayıcılar üzerine çalışmalar hızla artarak devam etmektedir. Nötrinolar, ışık hızına yakın hızda hareket eden, elektriksel yükü sıfır ve maddelerin içinden neredeyse hiç etkileşmeden geçebilen temel parçacıklar olduğundan dolayı algılanması ve dedekte edilmesi oldukça güçtür [1]. Nötrinoların direkt ya da indirekt tespitinde farklı deney sistemleri kullanılmıştır. Bunlardan Süper-Kamiokande deneyi en çok bilinenidir. Bir diğer deneyde Cherenkov ışımalarının tespiti klor izotopu dedektör olarak kullanılarak yapılmıştır. Ray Davis deneyinde nötrinolar tespit edilmiştir. MINOS ve K2K gibi hızlandırıcı deneylerde müonik nötrinonun çeşni salınımları hassas ölçümlerle teyit edilmiştir [2-4].

Doğal kaynaklardan gelen nötrinoların yakalanarak kullanılabilir formda dönüştürülerek kontrol edilmesi ve teknolojiye kullanılması önemlidir. Nötrinoların canlılara zarar vermeyecek düzeyde yapay olarak oluşturulup kolayca algılanmasını sağlayacak sistemlerin geliştirilmesi, yeni ve güvenli bilgi iletişim teknolojilerinin gelişimine imkan sağlayacaktır.

Çalışmamızda dünyada ve ülkemizde kullanılmakta olan nötrino bazlı kuantum manyetometrelerin, yani nötrino algılayıcılarının türleri, kullanım alanları, yeterlilikleri ve sınırlılıkları üzerinde durulacak ve doğal ve yapay nötrinoların farklı yöntemlerle tespit edilebilirliği araştırılacaktır. Bu araştırma ve inceleme çalışmasının nötrino teknolojisinin anlaşılmasına katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

Kaynakça

1. C.Guépin, R. Aloisio, L. A. Anchordoqui, A. Cummings, J. F. Krizmanic, A. V. Olinto, M. H. Reno, T. M. Venters, "Indirect dark matter searches at ultrahigh energy neutrino detectors", *Physical Review D*, **104**, 083002 (2021).
2. D. Gorbunov, I. Krasnov, Y. Kudenko, S. Suvorov, "Double-hit signature of millicharged particles in 3D segmented neutrino detector", *Physics Letters B*, 136641, **822** (2021).
3. A. Bilenky, "Neutrino oscillations: From a historical perspective to the present status", *Nuclear Physics B*, **908**, 2-13 (2016).
4. A.U. Yılmaz, "Kuantum mekaniksel girişim olayına şartıcı bir örnek: Nötrino osilasyonları", *Bilim ve Ütopya Dergisi*, **182** (2009).

Yüksek Verimli Güneş Enerji Teknolojilerinin İncelenmesi

Hikmet Evlioğlu¹, Sema Öztürk Yıldırım¹

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 38039, Kayseri

Dünya genelinde enerji talebinin artmasıyla birlikte enerji talebini karşılamak için kullanılan enerji kaynakları kirlilik ve çevre sorunları oluşturmaktadır [1]. Einstein ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada üretilen enerjinin büyük bir kısmının metal endüstrisinde, ısı uygulamalarında, petrol rafineri işlemlerinde, gıda işleme teknolojilerinde vb. yerlerde kullanıldığı görülmüştür [2]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi maksimum potansiyele sahiptir; temiz enerji üretir ve çevreye zarar vermez [3]. Enerji maliyetlerindeki artış nedeniyle Yüksek verimli güneş enerji teknolojileri günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Tarım, denizcilik, çay, şeker kamışı, otomobil, kauçuk, kağıt endüstrilerinde olduğu gibi kanalizasyon kurutma, endüstriyel atık, termik santrallerden elektrik üretiminde, linyit kömürü kurutma işlemlerinde de kullanılmaktadır [4].

Güneş enerjisinden enerji üretimine geçilirken üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler; fotovoltaiik güneş piller (PV), yoğunlaştırılmış fotovoltaiik sistemler (CVP) ve yoğunlaştırılmış güneş termik santralleri (CSP)'dir [5]. Bu sistemlerden en

eski olanı güneş enerjisinden termal (ısı) olarak yararlanılan CSP sistemidir. Son yıllarda en çok araştırılan ve üzerinde çalışılan grup foto voltaik güneş (PV) pilleri sistemidir. PV sistemleri 1950'li yılların başlarında ileri teknoloji ürünü olarak kullanılmıştır [5] PV sistemleri üç farklı sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; kristal silikon hücreleri, ince film hücreleri ve III-V grup ince film hücreleridir. Ayrıca PV hücresi kendi içinde farklı gruplara da ayrılmaktadır. PV sistemler birçok bileşenin bir araya gelmesi ile modülü oluşturmaktadır [6].

Güneş enerjisinden, yüksek verimle elektrik enerjisi üretiminin sağlanması son derece önemlidir. Bu dönüşümde düşük maliyet önemlidir. Yüksek teknolojilerin kullanılması, yüksek verim ve düşük maliyet bu süreçte büyük önem taşımaktadır. Çalışmamızda dünyada ve ülkemizde kullanılmakta olan güneş enerji teknoloji türleri ele alınacak, bu teknolojilerin yöntemleri, metotları ve verimlilikleri karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

Kaynakça

1. B. Machol, S. Rizk, "Economic value of U.S. fossil fuel electricity health impacts", Environment International, **52**, 75e80 (2013).
2. D. Einstein, E. Worrell, M. Khrushch, "Steam systems in industry: Energy use and energy efficiency improvement potentials", In: ACEEE 2001 Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Tarrytown, NY, Lawrence Berkeley National Laboratory (2001).
3. O. Aboelwafa, S.E.K. Fateen, A. Soliman, I.M. Ismail. "A review on solar Rankine cycles: Workingfluids, applications, and cyclemodifications", Renewable and Sustainable Energy Reviews, **82**, 1, 868-885 (2018).
4. A. Lingayat, R. Balijepalli, V.H. Chandramohan, "VH Applications of solar energy based drying technologies in various industries", A review Solar Energy, **229**, 15, 52-68 (2021).
5. A. Arsd, M. Lehtonen, A. "Stochastic assessment of PV hosting capacity enhancement in distribution network utilizing volter support techniques", IEEE PES Access **7**, 1-4 (2019).
6. R. Torquato, D. Salles, C.O. Pereira, P.C.M. Meira, W. Freitas, "A comprehensive assessment of PV hosting capacity on low-voltage disrtibution systems", IEEE Transactions on Power Delivery, **33**, 1002-1012 (2018).

POSTER SUNUMLARI

Hava-boşluklu Gama (Γ) Gate Yapılar Kullanarak 8 GHz'de 7,6 W/mm Güç Yoğunluğuna Sahip AlGaIn/GaN HEMT Aygıtların Üretilmesi

Ahmet Toprak¹, Doğan Yılmaz¹, Ekmel Özbay^{1,2}

¹Aselsan Bilkent Mikro Nano Teknolojileri, Ankara 06800, Türkiye

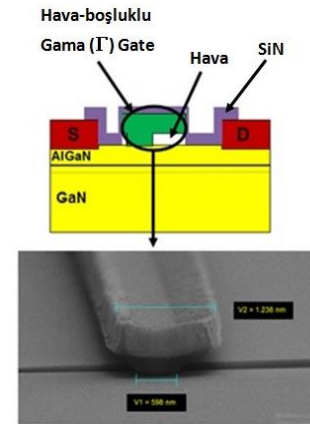
²Nanoteknoloji Araştırma Merkezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara 06800, Türkiye

Silisyum Karbür (SiC) alttaş üzerine büyütülen Galyum Nitrür (GaN) temelli yüksek elektron hareketlilikli (HEMT) transistörler, GaAs temelli HEMT aygıtlar ile kıyaslandığında sahip oldukları yüksek akım yoğunluğu, yüksek kırılma gerilimi, yüksek termal iletkenlik ve yüksek doymuş elektron sürüklenme hızı gibi özellikleri nedeniyle yüksek güç ve yüksek frekans elektroniği alanında büyük avantajlar sağlamaktadır. Her ne kadar mikroşerit hat (MSL) pasif teknolojisi için çok yüksek çıkış güçlü GaN HEMT aygıtlar üzerinde önemli çalışmalar yapılmış olsa da hava-boşluklu gama gate'li HEMT aygıtlar üzerinde çok fazla çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada hava-boşluklu gama gate yapıları içeren AlGaIn/GaN HEMT aygıtlar için maksimum doyum akımı (I_{DSS}), geçiş iletkenliği (g_m), eşik voltaj (V_{th}), akım kazancı kesilim frekansı (f_T), maksimum salınım frekansı (f_{max}) ve 8 GHz'de küçük-sinyal kazancı ve RF çıkış gücü (P_{out}) incelenmiştir.

Aygıt fabrikasyonu ada aşındırma izolasyon adımı ile başlamaktadır. Ada aşındırma işlemi, Cl₂/BCl₃ gazları kullanılarak kuru aşındırma yöntemi ile eşleşmiş plazma reaktif iyon aşındırma (ICP-RIE) sistemi kullanılarak yapıldı. Ada izolasyon derinliği, yüzey profilometresi kullanılarak 85 nm olarak ölçüldü. Ohmik kontaklar (kaynak ve akış metalleri), elektron demeti ile buharlaştırma sistemi kullanılarak sırasıyla 12, 120, 35 ve 65 nm kalınlıklarında Ti/Al/Ni/Au metalleri kaplanarak oluşturuldu. Metaller kaplandıktan sonra ohmik kontak oluşumunu sağlamak amacıyla metaller, hızlı tavlama sistemi kullanılarak azot atmosferi ortamında 850 °C'de 30 saniye boyunca tavlандılar. Tavlama sonrası ohmik kontak direnci, 0,2 Ω mm olarak ölçüldü. Bu adımdan sonra kaynak ve akış kontakları arasında hava-boşluklu gama gate'leri oluşturmak amacıyla örnek yüzeyi, sırasıyla elektron demetine duyarlı olan poli(metilmetakrilat) (PMMA) 950K A4,

MAA EL13 kopolimer ve son olarak da PMMA 50K A5 direnç malzemeleri ile kaplandı ve elektron demeti ile litografi yöntemi kullanılarak tek bir pozlama ile doğrudan gate'lerin ayak ve baş bölümleri tek seferde oluşturuldu. Daha sonra bu söz konu gate bölgeleri, elektron demeti ile buharlaştırma sistemi kullanılarak sırasıyla Ni/Au metalleri ile kaplandı. Bir sonraki adım olarak; aygıtların yüzey pasivasyonunu sağlamak amacıyla örnek yüzeyi, plazma ile güçlendirilmiş kimyasal buhar biriktirme sistemi (PECVD) kullanılarak 300 nm kalınlığında bir Si₃N₄ dielektrik tabakası ile kaplandı. Pasivasyon işlemi sonrası kuru aşındırma sistemi kullanılarak (ICP RIE) SF₆ ve Ar gaz karışımları ile, dielektrik tabakası üzerinde elektriksel kontak bölgeleri oluşturuldu. Kaynak metalleri birbirlerine bağlamak amacıyla hava köprüleri oluşturuldu ve hemen ardından da 3 μ m kalınlığında Ti/Au metalleri kaplama işlemi yapılarak iç bağlantı metalleri oluşturuldu ve bu son işlem ile HEMT aygıt fabrikasyonu tamamlandı. Şekil 1'de hava-boşluklu gama gate'li HEMT aygıt şematik görüntüsü ve gate yapılarının SEM görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1. Hava-boşluklu gama gate'li HEMT aygıtların şematik görüntüsü ve gate yapılarının SEM görüntüsü.

Kaynakça

1. Raav FV, Quay R, Kiefer R, Benkhelefa F et al. A Coplanar X-Band AlGaIn/GaN Power Amplifier MMIC on s.i. SiC Substrate. IEEE Microwave And Wireless Components Letters 2005;15:460-462.
2. Huang H et al. Effects of Gate Field Plates on the Surface State Related Current Collapse in AlGaIn/GaN HEMTs. IEEE Transactions on Power Electronics 2014;29(5).

S band Uygulamaları için AlGaIn/GaN HEMT Ön Yüz Fabrikasyonu

Barış Onaylı^{1,2}, Anıl Savaş^{1,2}, Batuhan Öztürk^{1,2}, Doğan Yılmaz^{1,2}, Ekmel Özbay^{1,2}¹Nanoteknoloji Araştırma Merkezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara 06800, Türkiye²Aselsan Bilkent Mikro Nano Teknolojileri, Ankara 06800, Türkiye

Galyum nitür (GaN) güç transistörü ve entegre devre teknolojileri son yıllarda dikkat çekici bir biçimde gelişim göstermiştir. Radar uygulamalarından 5. nesil baz istasyonlarına kadar birçok alanda kullanımı için üretimi yapılmaktadır. Galyum Nitür (GaN) temelli transistörler, yüksek güç yoğunluğu ve yüksek kırılma gerilimi gibi birçok avantajlı özellikleri sayesinde günümüz teknolojisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Galyum Nitür'ün bazı özelliklerinin diğer yarı iletken malzemeler ile karşılaştırılması Tablo 1'de gösterilmiştir.

Material	Mobility, μ , cm ² /V.s	Dielectric Constant, ϵ	Bandgap, Eg, eV	Break down field, Eb, 10 ⁶ V/cm	BFOM Ratio	Tmax, °C
Si	1300	11.9	1.12	0.3	1.0	300
GaAs	5000	12.5	1.42	0.4	9.6	300
4H-SiC	260	10	3.2	3.5	3.1	600
GaN	1500	9.5	3.4	2	24.6	700

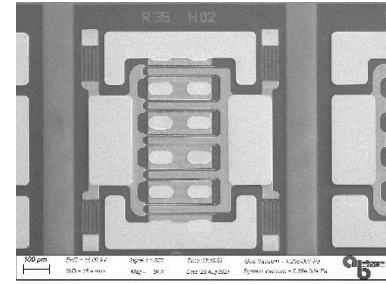
Tablo 1: Mikrodalga Yarı İletkenlerin Malzeme Özellikleri

Silisyum Karbür (SiC) yüksek termal iletkenlik ve üzerine büyütülecek GaN epitaksiyel kristal yapısı ile uyumluluğu gibi avantajları sayesinde GaN HEMT (yüksek elektron mobilite transistör) üretiminde alttaş olarak SiC kullanılmaktadır. Bu alttaş üzerine epitaksiyel kristal büyüme işlemleri tamamlandıktan sonra ön yüz fabrikasyon adımlarına geçilmektedir. Taşıyıcı yoğunluğu 1.01E+13cm⁻², 2020 cm²/Vs, Sheet direnci 305 ohm/sq ve %26 Al konsantrasyona sahip epitaksiyel yapı kullanılmıştır.

Alttaş üzerinde aygıtların oluşturulacağı alanlar birbirlerinden izole edildikten sonra bu bölgelerde alaşımız omik kontak oluşturulmaktadır. Bu adımları dielektrik malzeme kaplama, T-kapı oluşturma, alan plakaları oluşturma, ikinci ve üçüncü bağlantı metalizasyon adımları takip etmektedir. Ön yüz fabrikasyon adımları sırasıyla Şekil 1'de gösterilmektedir.

**Şekil 1:** GaN HEMT Fabrikasyon Adımları

GaN HEMT üretiminde optik ve elektron demeti litografi sistemleri, PVD, CVD ve RIE sistemleri kullanılmıştır. Bu sistemler kullanılarak üretilen GaN HEMT aygıtlarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü Şekil 2'de gösterilmektedir.

**Şekil 2:** GaN HEMT SEM Görüntüsü

Üretilen GaN HEMT aygıtlarının 7.5 W/mm üzerinde çıkış gücü elde edildiği ve kaçak akımlarında 200 uA/mm'nin altında görülmektedir. Tablo 2'de aygıtların karakterizasyon sonrası bazı ortalama verileri görülmektedir.

V_{knee} @ $V_g=2V$ (V)	R_{on} @ $V_g=2V$ ($\Omega \cdot mm$)	V_{th} (V)	I_{dssmax} @ $V_g=2V$ (A/mm)	$I_{d,leak}$ @ $V_d=40V$ ($\mu A/mm$)	$I_{g,leak}$ @ $V_d=40V$ ($\mu A/mm$)	$P_{out@}$ 4dB (W/mm)
5.4	3.20	-2.74	0.88	110	-123	7.5

Tablo 2: GaN HEMT Karakterizasyon Sonuçları**Kaynakça**

- R. S. Pengelly et al, "A Review of GaN on SiC High Electron-Mobility Power Transistors and MMICs" IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, Vol. 60, No. 6, June 2012
- M. E. Sherwin and T. J. Drummond "Predicted elastic constants and critical layer thicknesses for cubic phase AlN, GaN, and InN on β -SiC" Journal of Applied Physics 69, 8423, August 1998

AlGaN/GaN HEMT Arka Yüz Fabrikasyonu

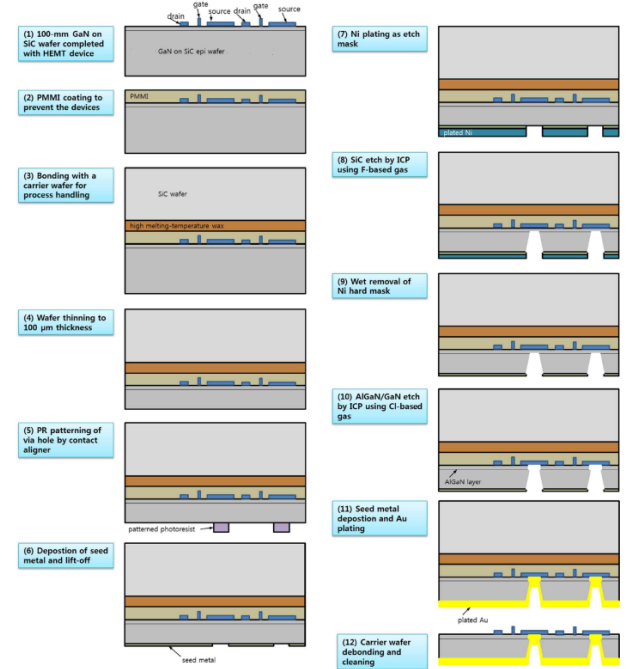
Güneş Başar¹, Ferdi Aydın¹, Murat Bellikli¹, Taha Haliloğlu¹, Doğan Yılmaz¹, Ekmel Özbay^{1,2}¹Aselsan Bilkent Mikro Nano Teknolojileri, Ankara 06800, Türkiye²Nanoteknoloji Araştırma Merkezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara 06800, Türkiye

SiC (Silisyum karbür) geçiş delikleri; milimetre dalga boyunda, yüksek güçte “GaN (Gallium Nitride) HEMT (High Electron Mobility Transistor) MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)”ler oluşturmak için kilit teknolojidir. Bu geçiş delikleri, cihazın topraklamasını ve kaynak endüktansının düşürülmesini sağlar.

SiC, yüksek Si-C bağ enerjisi sebebiyle aşındırması çok zor bir malzemedir. Açılan geçişler 100 mikron gibi görece olarak fazla bir derinliğe sahiptir. Bu durum, uzun aşındırma süreleri ve buna bağlı olarak maske dayanım zorluğu oluşturmaktadır; daha da ötesinde mikro-maskeleme etkisiyle pillar yapılarının oluşmasına yol açabilecektir.

Arka yüz üretim işlemleri sırasıyla Şekil 1’deki akış şemasında gösterilmiştir. Öncelikle, tamamlanmış olan ön yüzün güvenliği için yonga plakası ile bir taşıyıcı plakanın özel bir yapıştırıcı malzeme ile yapıştırılması sağlanır. Sonrasında SiC alt taş 100 mikron kalınlığa kadar inceltilir ve parlatılır. Geçiş delikleri litografide negatif fotorezist ile desenlenir. Ti/Au metalleri E-demet buharlaştırıcı cihazı ile kaplanır ve ardından desenli yerlerden metalleri sökülür. Aşındırma işlemi için yüksek enerjili plazmaya dayanımı yüksek Ni (nikel) maske kullanılır. Yaklaşık 10 mikron kalınlığında Ni maskenin kaplanması gerçekleştirilir. Yüksek güçte yoğun plazma üretebilen ICP (Inductively Coupled Plasma) sisteminde SF₆ gazı ile Silisyum Karbürün aşındırması gerçekleştirilir.

yüzdeki Au katmanına ulaşılır. Böylelikle, ön yüzdeki kaynak elektrodları ile arka yüz arasında bir geçiş açılmış olur. Bu geçiş öncelikle E-demet buharlaştırıcısı ile Ti/Au metalleri ile çekirdek kaplaması yapılır. Ardından, bu kaplamanın üzeri elektroliz yöntemiyle kalın Au tabakası ile kaplanır. Geçici olarak yapıştırılmış olan taşıyıcı plaka yapıştırıcısının erime sıcaklığının üzerinde ayrılır. Solventler ile cihazın temizliği yapılarak arka yüzün üretim işlemi sonlandırılır.



Şekil 1: Arka yüz işlem akışı

Bu işlemden sonra, Cl₂ ve BCl₃ gaz karışımı ile GaN/AlGaIn epitaksiyel katmanlar aşındırılarak ön

Kaynakça

- Byoung-Gue Min, Seong-Il Kim, Jong-Min Lee, Hyung Sup Yoon, Haecheon Kim, Ho-Kyun Ahn, Kyu-Jun Cho, Dong-Min Kang, Sang-Heung Lee, Chul-Won Ju, Jong-Won Lim, Byoung-Chul Jun, Youn-Kook Jung “Fabrication and Electrical Properties of an AlGaIn/GaN HEMT on SiC with a Taper-shaped Backside Via Hole”, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 67, No. 4, pp. 718~722, August 2015
- Naoya Okamoto, Toshihiro Ohki, Satoshi Masuda, Masahito Kanamura, Yusuke Inoue, Kozo Makiyama, Kenji Imanishi, Hisao Shigematsu, Toshihide Kikkawa, Kazukiyo Joshin, Naoki Hara “SiC Backside Via-hole Process For GaN HEMT MMICs Using High Etch Rate ICP Etching” CS MANTECH Conference, May 18th-21st 2009

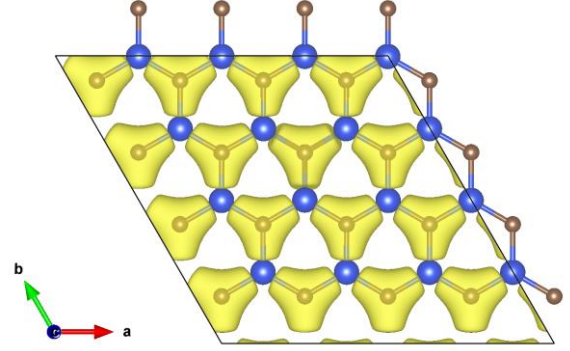
İKİ BOYUTLU SiC MALZEMESİNE N, P ve As ATOMLARININ EKLENMESİ

E. Demirci¹, F. Ersan², Y. Mogulkoc¹

¹ Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06100, Türkiye

² Adnan Menderes Üniversitesi, Fizik Bölümü, Aydın, 09100, Türkiye

Grafenin tek katmanlı olarak keşfedilmesinden sonra, iki boyutlu malzemelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Genel olarak iki boyutlu (2B) malzemeler, iki veya daha fazla kovalent bağlı elementten oluşan çeşitli element veya bileşiklerin iki boyutlu allotropları olarak adlandırılabilir [1]. Yapılan çalışmalar ile grafen nanoelektronik cihazlarda, pillerde, biyosensörlerde, süper kapasitörlerde ve tıp alanlarında büyük avantaj elde etmiştir. Grafenin bu kadar avantajlı ve yüksek performanslı kullanımından doğan taleple birlikte bilim insanları yeni 2B materyallerin arayışına girmişlerdir. Son yıllarda IV-A grubu elementlere yeni nesil cihazlarda kullanılma potansiyelleri nedeniyle özel bir ilgi olmuştur [2].



Şekil 1: 2B SiC yapısının yük yoğunluğu

Silisyum karbür (SiC), ısı iletkenliği ve yüksek radyasyon direnci olan zorlu koşullarda çalışmak için kullanılacak yeni nesil yüksek performanslı yarı iletken cihazlar için umut vericidir [3].

Bu çalışmada 2B 4x4 supercell SiC yapısına V-A grubu elementlerinden Nitrojen (N), Fosfor (P) ve Arsenik (As) adatom olarak eklenmiştir. SiC üzerinde tek bir N, P ve As eklendiğinde 2B SiC tek tabakalı yapısının elektronik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Ayrıca adatom ve SiC arasındaki yük transferi ve elektronik yapıdaki değişimin sebepleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Teşekkür: Nümerik hesaplamalar Ankara Üniversitesi BAP-AYP Proje No: 17A0443001 kapsamındaki yüksek performanslı bilgisayar sisteminde gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

1. J. C. Garcia, D. B. De Lima, L. V. C. Assali, and F. Justo, "Group IV Graphene- and Graphane-Like Nanosheets," pp. 13242–13246, 2011.
2. D. M. Hoat, M. Naseri, N. N. Hieu, R. Ponce-Pérez, J. F. Rivas-Silva, and G. H. Cocoletzi, "Transition from indirect to direct band gap in SiC monolayer by chemical functionalization: A first principles study," Superlattices Microstruct., vol. 137, p. 106320, 2020).
3. J. M. Kremsner and C. O. Kappe, Silicon Carbide. 2008.

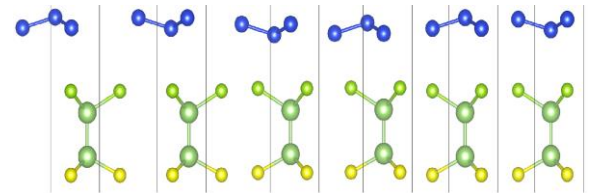
İki Boyutlu Janus Malzemelerde Schottky Bariyeri

Yasin Zengin¹, H. Eslem Güler², Rabia Çağlayan², Yeşim Moğulkoç¹¹Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara²Ankara Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06100, Ankara

Grafen ve grafen tipi iki boyutlu (2B) malzemeler yüksek elektron ve hol mobiliteleri ve ayrıca kuantum Hall iletkenlikleri gibi ilgi çekici özellikleri sayesinde alan etkili transistörler gibi elektronik uygulamalarda umut verici adaylardır. Ancak elektronik bant aralıklarına sahip olmamaları yarıiletken teknolojisini temel alan optoelektronik uygulamalarında grafen tipi malzemeleri elverişsiz kılmaktadır. Şimdiye kadar geçiş metali dikalkojenitler, fosforen ve hegzagonal bor nitrür gibi birçok iki boyutlu malzeme hem teorik hem de deneysel olarak incelenmiştir. Ancak keşfedilen bu malzemelerinde uygulama alanlarını kısıtlayan dezavantajları mevcuttur. Örneğin MoS₂'nin düşük taşıyıcı mobilitesine sahip olması elektronik uygulamalarını kısıtlamaktadır. Bunlara ilaveten, 2B Janus malzemeler, düzlem dışı asimetrisi nedeniyle güneş pilleri, gaz algılama, bataryalar ve piezoelektrik cihazlar gibi çeşitli umut verici uygulama alanlarına da sahiptir. Janus malzemelere öncülük eden MoSSe'nin sentezlenmesi ve MoS₂(Se₂)'den daha üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğundan dolayı farklı 2B Janus malzemeler teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Diğer bir taraftan grafen tipi ve yarı iletken malzemelerin van der Waals heteroyapı oluşturulması ile malzemelerdeki gizli kalmış birçok özellik açığa çıkmaktadır. Örneğin grafen ve Janus iki boyutlu malzemeler ile oluşturulan

bir heteroyapı Schottky veya ohmik kontak tasarımları için ideal bir adaydır. Bu tür kontaklar modern optoelektronik uygulamalar için gaz algılama, geri kazanım (recovery) ve tepki (response) sürelerini de iyileştirdiği için de önemli bir yere sahiptir [1].

Bu çalışmada grafen tipi bir yarımetal 2B'lu malzeme ile Ga₂XY (X, Y = S, Se) tipi Janus 2B'lu malzemelerin heteroyapıları farklı istiflenmeler ile incelenmiştir. Yapısal ve dinamik olarak kararlılıkları hesaplanarak en kararlı yapı belirlenmiştir. Elektronik bant yapısı, katmanlar arası yük transferi ve Schottky bariyer yüksekliği hesaplanmıştır. 2B heteroyapıların elektronik bantları ve Schottky bariyer yükseklikleri dışarıdan uygulanan elektrik alan ve gerilmeler altında incelenmiş ve n-tipi- p-tipi geçişler gözlenmiştir. Ayrıca 2B heteroyapımıza ait optik özellikler de araştırılmıştır.



Şekil 1: Grafen tipi yarı metal 2B malzeme/Ga₂XY tipi Janus 2B malzeme ile oluşturulan heteroyapıların istif desenleri

Teşekkür:

Bu çalışma 21B0443001 nolu araştırma ve 17A0443001 nolu altyapı projeleri ile Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. V. Van Quang, N. Van Dung, N. Sy Trong, N. Duc Hoa, N. Van Duy, ve N. Van Hieu, "Outstanding gas-sensing performance of graphene/SnO₂ nanowire Schottky junctions", Applied Physics Letters, **105(1)** (2014).

Pb katkılı CdS Yarıiletken Filmlerin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Sema Kurtaran

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, Eskişehir

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji ekonomisinin gelecekteki ihtiyaçları karşılamak için muazzam bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel fotovoltaik güneş hücresi teknolojileri ile değerlendirilmektedir. Fotovoltaik güneş hücresi teknolojilerinde mevcut pazarın büyük bir kısmını silisyuma dayalı teknolojiler oluşturmaktadır. Ancak uzun vadedeki kullanımlarda maliyet problemi silisyum güneş hücresi teknolojilerinin önünde bir engel teşkil etmektedir. CdS ince filmlerin elektronik yapısı güneş ışığı tayfına uygun olduğundan güneş hücrelerinde ve teknolojik aletlerde sıklıkla kullanılmaktadır. CdS; geniş bant aralığı, yüksek absorpsiyon katsayısı, kararlılığı ve ucuz maliyetlerinden dolayı pek çok alanda araştırmacıların dikkatini çeken bir malzemedir. CdS filmleri fotovoltaik güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılan, öz dirençleri yüksek olması nedeniyle farklı elementlerin katılanmasıyla öz direnç değerleri düşürülebilen ve optik geçirgenlikleri artırılabilen malzemelerdir. Bu nedenle CdS'ün bu özelliklerinin değerlendirilebilmesi, uygulama alanına göre değiştirilmesi ve bu yolla günümüz teknolojik ihtiyaçlarını karşılayabilmesi amacıyla bu malzemeye farklı elementlerin katılanması, son yıllarda dikkat çeken çalışmalardır. Bu çalışmada, teknolojik uygulamalarda kullanılacak Pb katkılı CdS filmleri, basit ve ekonomik bir teknik olan Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Tekniği ile $360 \pm 10^\circ\text{C}$ taban sıcaklığında mikroskop cam tabanlar üzerine elde edilmiştir. Üretilen filmlerin optik, elektrik ve yüzey özellikleri araştırılmıştır. Filmlerin tümü polikristal olup, altıgen kristal yapı sergilemektedir. Filmlerin geçirgenlik ve soğurma spektrumları, UV spektrofotometre cihazları kullanılarak belirlenmiştir. Optik metot kullanılarak yasak enerji aralığı belirlenmiştir. Ayrıca filmlerin üç boyutta yüzey görüntülerini incelemek ve yüzey pürüzlülüklerini belirlemek amacıyla atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri alınmıştır. CdS filmlerinin öz dirençleri dört uç tekniği kullanılarak belirlenmiştir.

Teşekkür: Bu çalışma FHD-2021-1652 nolu proje ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. K.Veerathangam, M.S. Pandian, P. Ramasamy, "Photovoltaic performance of Pb-doped CdS quantum dots for solar cell application", *Materials letters*, **220**, 74-77 (2018).
2. R. Gutierrez, O.P. Ilo, M. Chavez, H. Juarez, M.Pacio, L. Chaltel, "Optical and structural properties of CdS:Pb⁺² nanocrystals", *Revista Mexicana de Fisica*, **61**, 312-322 (2015).
3. A.I. Onyia, "Variations in Morphological and Electrical Properties of Pb-doped CdS Thin Films Synthesized in Chemical Baths of Different Acidity", *International Journal of Scientific & Engineering Research* **9(5)**, 296-300 (2018).
4. H.K. Kaushik, S. Kumar, M.G. Chaudhary & S. Khan, "Optical Properties of CdS:Pb thin layer deposited on glass substrate", *Indian Journal of Probe & Applied Physics* **58**, 11-15 (2020).
5. A.I. Onyia, M.N. Nnabuchi, Effect of Pb on The Energy Band and Electrical properties of CdS Thin Films Grown Within Polymer Matrix in Chemical Bath Deposition Techniques", *Chalcogenide Letters*, **11(6)**, 297-302 (2014).
6. M. Anbarasi, V.S. Nagarethinam, R. Baskaran, V. Narasimman, "Studies on the structural, morphological and optoelectrical properties of spray deposited CdS:Pb thin films", *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering*, **18**, 72-77 (2016).

Mn katkılı nanoyapılı ZnO ince filmlerinin sentez ve karakterizasyonu

Seniye KARAKAYA

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 26480, Eskişehir

Saydam İletken Oksitler (TCO) içerisinde en popüler olan ise indiyum kalay oksit (ITO)'nun indiyum elementinin tükenmesi ve gün geçtikçe maliyetinin artması uzun vadedeki güneş enerjisi teknolojileri uygulamalarında bir problem olarak görülmektedir. Bu nedenle sıklıkla kullanılan ITO'ya alternatif yeni TCO malzemelerden biri olan ZnO toksik olmaması ve doğada bol bulunması nedeniyle dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, ZnO ve Mn katkılı ZnO ince filmler (ZnO:Mn), Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Tekniği ile cam altlıklar üzerine farklı katkı konsantrasyonlarında kaplanmıştır. Elde edilen ZnO:Mn ince filmleri karakterize etmek için Taramalı Ektron Mikroskobu (SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve UV-VIS spektroskopisi dahil bir dizi teknik kullanılmıştır.

Mn katkı konsantrasyonunun ZnO ince filmlerinin optik, yüzey ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. XRD analizleri, tüm filmlerin hekzagonal wurtzite yapıya sahip polikristal çinko oksit olduğunu doğrulamaktadır. Hazırlanan tüm numuneler için ortalama optik geçirgenliğin, görünür bölgede %80'den yüksek olduğu görülmüştür. Taramalı elektron mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu karakterizasyonundan yararlanarak filmlerin yoğun ve homojen film morfolojisi gösterdiği belirlenmiştir. Filmlerin elektriksel özelliklerini değerlendirmek için dört uç tekniği kullanılmıştır.

Kaynakça

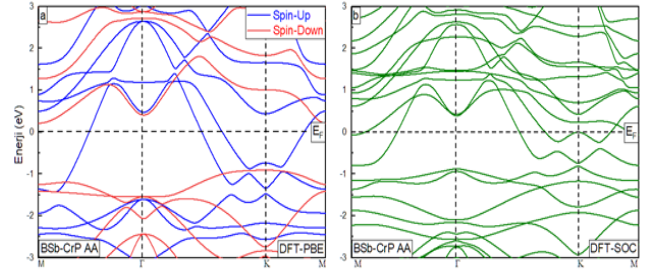
1. K. Ravichandran, K.Karthika, B.Sakthivel, N.JabenaBegum, S.Snega, K. Swaminathan, V.Senthamilselvi, "Tuning the combined magnetic and antibacterial properties of ZnO nanopowders through Mn doping for biomedical applications", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **358**, 50–55 (2014).
2. R. Sangeetha, S. Muthukumaran, M. Ashokkumar, "Structural, optical, dielectric and antibacterial studies of Mn doped Zn_{0.96}Cu_{0.04}O nanoparticles", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **144**, 1–7 (2015).

İki Boyutlu BSb/CrP Heteroyapısının Elektronik Özellikleri

Doğukan Leloğlu¹, Aybey Moğulkoç² ve Yeşim Moğulkoç¹¹Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 0610, Ankara²Ankara Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06100, Ankara

Yeni iki boyutlu (2B) heteroyapılı malzemelerin öne çıkan fiziksel özellikleri ve optoelektronik tabanlı yarıiletken cihaz teknolojilerindeki geniş pratik uygulamalarından dolayı pek çok araştırma grubunun ilgi alanını oluşturmaktadır. Magnetik özellik gösteren malzemelerin fiziği yoğun madde fiziğinin önemli araştırma alanları arasındadır. Magnetik malzemelerin sahip olduğu elektronik yapı o malzemenin sahip olacağı manyetik düzeni belirlemede de etkindir. Heteroyapıların sentezi, farklı özelliğe sahip atomların ya da tabakaların bir araya getirilmesi suretiyle malzemenin sahip olduğu fiziksel özellikleri değiştirmeye imkan tanımaktadır. Bu çalışmada, magnetik özellik gösteren 2B'lu BSb/CrP heteroyapısının dinamik ve elektronik özellikleri Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (YFT) kullanılarak incelenmiştir. Yapının AA istifi dinamik olarak kararlı bulunmuştur ve

bu kararlı istife ait elektronik özellikleri incelenmiştir. Doğrusal yanıt teorisinden yapı için U değeri eV cinsinden bulunmuş olup, bu değer ile yapının bant spektrumları incelenmiştir. Sonuç olarak manyetik olmayan bir alttaş üzerine magnetik bir yapının konulup manyetik etkinin yapıda ne gibi değişimlere sebep olduğu bu çalışma sayesinde anlaşılmasına çalışılmıştır.



Şekil 1: BSb/CrP heteroyapısının (a) DFT-PBE, (b) DFT-SOC bant spektrumu

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK tarafından Proje No: 115F088 kapsamında desteklenmektedir. Nümerik hesaplamalar Ankara Üniversitesi BAP-AYP Proje No: 17A0443001 kapsamındaki yüksek performanslı bilgisayar sisteminde gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

1. Meiqiu Xie, Shengli Zhang, Bo Cai, Zhen Zhu, Yousheng Zou and Haibo Zeng-Nanoscale 14 May 2020. Two-dimensional BX (X=P, As, Sb) Semiconductors with Mobilities Approaching Graphene, Issue 18 - Page 9905 to 10410.
2. Shao-feng Wang, and Xiao-jun Wu. First-Principles Study on Electronic and Optical Properties of Graphene-Like Boron Phosphide Sheets, Chinese Journal of Chemical Physics 28, 588 (2015).

Mikroşerit Rezonatör Yapılı İki Rezonanslı Dielektrik ve Kalınlık Sensörü

Kurtay Alp^{1,2}, Fulya Bağcı¹

¹Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara

²Milli Savunma Bakanlığı, Savunma Sanayi Denetleme Şubesi, 06100, Ankara

Malzemelerin dielektrik sabitlerinin ve kalınlıklarının ölçümü kimya, gıda, savunma sanayi gibi uygulamalar açısından anahtar bir role sahiptir [1]. Bilinmeyen bir malzemenin karakteristiklerinin belirli frekanslarda yüksek duyarlılıkla elde edilmesinde rezonant yöntemler rezonant olmayanlara göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Rezonant yöntemler arasında rezonatör bazlı yöntemler sağladıkları yüksek doğruluk oranları bakımından öne çıkmaktadır. Bir rezonatörün üzerine bir dielektrik numune yerleştirildiğinde rezonans frekansı etkin dielektrik sabiti ile orantılı olarak azalmaktadır [2].

Bu çalışmada, kalınlık ve dielektrik sabitinin belirlenmesi için mikrodalga frekanslarda çalışabilen mikroşerit yapıda bir sensör önerilmiştir. Mikroşeritin arka yüzündeki metal düzlemi aşındırılarak bir manyetik LC rezonatör yapısı oluşturulmuştur. Sensör tasarımında ve saçılma parametrelerinin hesaplanmasında üç boyutlu tam-dalga ticari bir elektromanyetik simülasyon programı kullanılmıştır. Sensör, yüksek doğruluk oranı için iki rezonanslı olarak tasarlanmıştır. Bu amaçla, ön yüzdeki mikroşerit iletim hattı arka yüzdeki LC rezonatörün simetri hattına göre farklı oranlarda kaydırılmıştır. Kaydırma miktarının rezonans özelliklerine etkisi incelenmiş ve 2,5 mm kaydırılmış mikroşerit yapı dielektrik sensörü olarak uygun görülmüştür. Simülasyon sonuçlarından 2,14 GHz ve 2,92 GHz frekanslarda -11,0 dB ve -17,9 dB büyüklüklerde iki rezonans elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarının doğruluğunu kanıtlamak için mikroşerit tabanlı rezonatör FR-4 alüminyum üzerine fotolitografi yöntemi ile üretilmiştir. Vektör network analizörü ile iletim spektrumu ölçülmüş ve simülasyon sonuçları ile tutarlı bulunmuştur.

Simülasyon ortamında, LC rezonatör yüzeyi ve bakır plaka arasına farklı dielektrik sabitine ve kalınlığa sahip numuneler yerleştirilmiştir. Kalınlık ve dielektrik sabitini düşük ve yüksek rezonans frekanslardan yola çıkarak belirlemek için polinomial denklemlere doğrusal olmayan fit işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın devamında dielektrik algılamanın deneysel olarak da gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Katıların dielektrik sabitini ve kalınlığını mikrodalga frekanslarda rezonatör bazlı rezonant yöntem ile belirlemek, düşük maliyet, tahribatsız ve gerçek zamanlı ölçüm bakımından avantaj sunmaktadır.

Teşekkür:

Bu çalışma 21B0443004 no'lu proje ile Ankara Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. M. S. Boybay, O. M. Ramahi, IEEE Trans. Instrum. Meas., **61**, 3039–3046 (2012).
2. F. Costa, C. Amabile, A. Monorchio, E. Prati, IEEE Microw. Wireless Comp. Lett., **21**, 273–275 (2011).

Ultra-ince Antiferromanyetik Filmlerde Spin Pompalama ve Kritik Sıcaklık Ölçümleri

Ege Selvi¹, Kutay Akın¹, Bayram Kocaman^{1,2}, Mohammad Hassan Ramezan Zadeh¹, Hasan Pişkin¹, Özhan Özatay¹

¹Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 34342, İstanbul

²Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 56100, Siirt

Son yıllarda antiferromanyetik (AFM) malzemelerin gerek manyetik hafıza gerekse THz mertebesinde sinyal üretici gibi farklı spintronik uygulamalarının olabileceğinin anlaşılmasıyla bu tip malzemelere olan ilgi daha da artmıştır. Bununla birlikte AFM malzemelerin kısıtlı boyutlarda ve kalınlıklarda termal kararlılıklarının belirlenmesi büyük önem kazanmıştır. Bunların ölçülmesindeki en büyük zorluk AFM dizilime sahip manyetik momentlerin dış manyetik alana tepkisizliği ve malzemenin kaçak manyetik alanının (Stray Field) olmamasıdır. Bu nedenle alternatif ölçüm metotları geliştirilmektedir.

AFM dizilimin bozulmaya başladığı sıcaklığa Néel sıcaklığı denmektedir. Tamamen antiferromanyetik malzemenin kendine özgü olan Néel sıcaklığı, zaman zaman iki tabakalı AFM/FM (FM: ferromanyetik) yapılarında gözlenen tıkanma sıcaklığı ile karıştırılabilmektedir. Tıkanma sıcaklığı değiş tokuş anizotropisine bağlı histeresis döngüsündeki kayma miktarının sıfırlandığı sıcaklık olarak tarif edilir ve kolaylıkla ölçülebilmektedir [1]. Bunun aksine izole edilmiş bir antiferromanyetik ince filmin Néel sıcaklığının ölçülmesi son derece güçtür. Geleneksel teknikler sadece yeterince kalın ince filmlerde veya çok katmanlı yapılarda sonuç vermektedir. Bu sebeplerden ötürü, geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı sonlu boyutlardaki malzemeler için daha etkili ve alternatif bir karakterizasyon metodu düşünülmesi gerekmektedir.

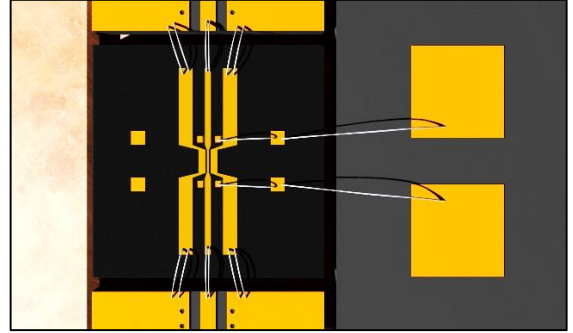
Önceki yıllarda keşfi yapılan spin pompalama yöntemi en etkili alternatif metotlardan biridir.

Teşekkür:

Bu çalışma 118F431 nolu proje ile TÜBİTAK ve 20B03M6 proje koduyla Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. V. Baltz, B. Rodmacq, A. Zarefy, L. Lechevallier, B. Dieny, "Bimodal Distribution of Blocking Temperature in Exchange-Biased Ferromagnetic/Antiferromagnetic Bilayers", *Physical Review B*, **81**, 052404 (2010).
2. L. Frangou, S. Oyarzún, S. Auffret, L. Vila, S. Gambarelli, V. Baltz, "Enhanced Spin Pumping Efficiency in Antiferromagnetic IrMn Thin Films Around the Magnetic Phase Transition", *Phys. Rev. Lett.* **116**, 077203 (2016).



Şekil 1: Spin pompalama cihazının bir tasarımı.

Spin pompalama yönteminde IrMn gibi ağır metal bileşen içeren üç tabakalı AFM/Cu/FM yapıları kullanılmaktadır. Radyo frekans bir akım yardımıyla uygulanan mikrodalga manyetik alan kullanılarak sabit bir manyetik alan etrafında antiferromanyetik katman üzerindeki bir ferromanyetik katmanda manyetizasyon devinimi yaratılabilmektedir. Devinim sırasında AFM ince filmlere pompalanan saf spin akımlarının ters spin Hall etkisiyle ölçülebilir yük akımlarına dönüştüğü gözlenmiştir [2]. Ayrıca, AFM katmanın faz değişim sıcaklığına yakın sıcaklıklarda devinim hareketine ait sönümleme parametresindeki değişimleri gözlemlemek mümkün olmaktadır. Bu sayede sonlu büyüklüklere sahip AFM malzemelerin Néel sıcaklıkları belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ağır metal içerikli antiferromanyetik IrMn, PdMn, PtMn ve hafif metal içerikli FeMn, NiMn malzemelerinde sonlu büyüklük etkileri araştırılmıştır. Araştırmada sürekli film şeklindeki iki tabakalı AFM(t:1-25 nm)/NiFe(5 nm) yapılarına ait tıkanma sıcaklıkları incelenmiştir. Sonrasında Şekil 1'de gösterilen pompalama cihazları üretilerek Néel sıcaklığı deneyleri gerçekleştirilecektir. Elde edilen Néel sıcaklıkları tıkanma sıcaklığı ile kıyas edilecektir.

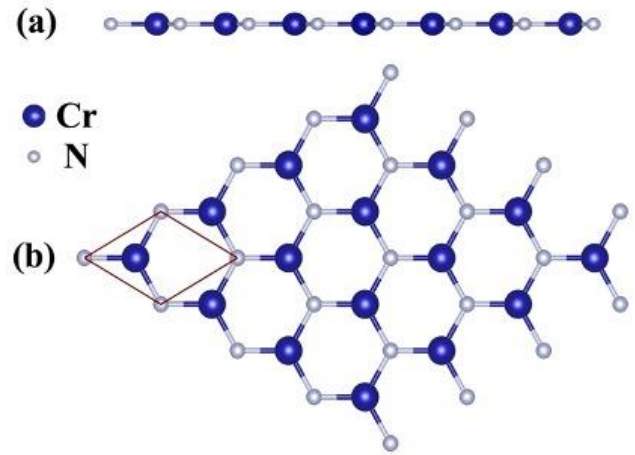
İki-boyutlu Ferromagnetik CrN Kristali

Hümevra Eslem Güler, Barış Çelik ve Aybey Moğulkoç

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06100, Ankara

Düşük boyutlu magnetler için birçok olası teknolojik uygulama alanı olmakla birlikte, oda sıcaklığında sahip olduğu fazı koruyacak iki-boyutlu ferromagnetlerin arayışı yoğun madde fiziğinin önemli araştırma alanları arasındadır. Magnetik özellik gösteren iki-boyutlu CrI_3 yapının [1] sentezlenmesi ile birlikte diğer muhtemel magnetik yapıların arayışı artış göstermiştir. Yapılan teorik hesaplamalar ile sentezlenmesi muhtemel yapılarda elde edilmektedir. Bu hesaplamalar çerçevesinde incelenen krom nitrid (CrN) ferromagnetik (FM) düzene sahip half-metalik özellik gösteren ve nispeten yüksek Curie sıcaklığına sahip iki-boyutlu bir malzeme olarak karakterize edilmiştir [2]. Bu motivasyon ile, bu çalışmada, CrN tek tabakasının elektronik özellikleri, magnetik özellikleri ve bu özelliklerin yük katkılama ve Hubbard etkileşmesi altındaki değişimi araştırılmıştır. Bu çalışmada, hesaplar yoğunluk fonksiyoneli teorisi tabanlı düzlem dalga yaklaşımını kullanan simülasyon paketi ile (VASP [3, 4]) yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda düzlem dalga baz setlerinin yol açtığı yetersizlikler gözlemlenmiş ve bu yetersizlikler atomik orbital tabanlı başka bir yaklaşım kullanan simülasyon paketi (OpenMX [5]) ile giderilmiştir.

Yapının elektronik özelliklerini karakterize eden enerji band yapısının yanı sıra magnetik özellikleri belirlemek için kullandığımız değiş-tokuş parametreleri ve iki-boyutlu magnetizmaya temel oluşturan anizotropi parametresi her iki kodun kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 1: İki-boyutlu hegzagonal örgüye sahip CrN kristali

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK tarafından Proje No: 115F361 kapsamında desteklenmektedir. Nümerik hesaplamalar Ankara Üniversitesi BAP-AYP Proje No: 17A0443001 kapsamındaki yüksek performanslı bilgisayar sisteminde gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

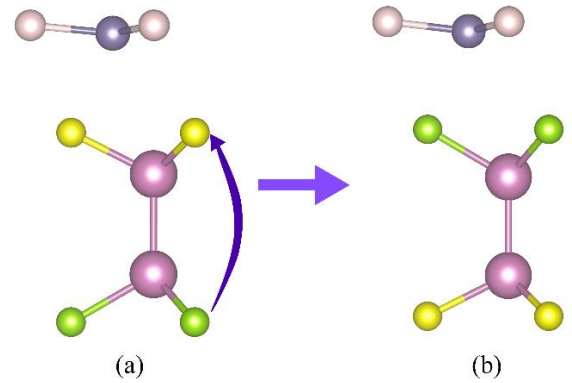
1. Huang, B. Clark, G. Klein, D.R. MacNeill, D. Moratalla, E.N. Seyler, K.L. Wilson, N. McGuire, M.A. Cobden, D.H. Xiao, D. Yao, W. Herrero, P.J. Xu, X. 2018. Electrical control of 2D magnetism in bilayer CrI_3 . Nature Nanotechnology 13, 544–548.
2. Modarresi, M Mogulkoc, A Mogulkoc, Y. Ve Rudenko, A.N.2019. Lateral Spin Valve Based on the Two-Dimensional CrN/P/CrN Heterostructure, Phys. Rev. Applied 11, 064015
3. Bradbyge, M., Taylor, J., Stokbro, K., Mozos, J.-L., Ordejón, P. , Phys. Rev. B. 65, 165401, 2002.
4. KE, S.-H., Baranger, H. U. ve Yang, W., Phys. Rev. B. 70, 085410,2004.
5. <http://www.openmx-square.org/>

İki Boyutlu Janus van der Waals Heteroyapılarda Arayüz Etkileşmesi

Rabia Çağlayan¹, Yeşim Moğulkoç²¹Ankara Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06100, Ankara²Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara

Grup-III dikalkojenitleri dolaylı bant aralıkları ve geniş optik tepkileri nedeniyle optoelektronik teknolojisi için öne çıkan malzemelerdir [1]. Pratik uygulamalar için, bu yarı iletkenlerin bant aralıkları, harici elektrik alan, zorlama ve çeşitli 2B malzemeler ile istiflenmesiyle van der Waals (vdW) heteroyapılar oluşturularak kontrol edilebilmektedir. Oluşturulan bu vdW heteroyapıların optik ve elektronik özellikleri istif düzenine bağlıdır ve tek katmanlı muadillerine göre daha işlevseldir. Atomik kalınlıktaki 2B'lu malzemelerin optoelektronik özellikleri Janus tek tabakaların oluşumu ile ayarlanabilmektedir. Örneğin, MoSe₂'nin Se katmanı S atomlarıyla değiştirilerek (sülfürizasyon) Janus MoSSe tek tabakası üretilmiştir [2]. S ve Se atomlarının elektronegatifliklerinin farklarından dolayı iki atom arasında bir içsel bir elektrik alan meydana gelir ve bundan dolayı elektronik özellikleri tek tabaka MoSe₂(S₂)'ye göre farklıdır. 2B vdW heteroyapılarının uygulama alanlarını belirlemek için bant hizalanmaları dikkate alınmalıdır. vdW heteroyapıları, tip-I (ayrık aralık), tip-II (kademeli aralık) ve tip-III (kırık aralık) olarak üç farklı şekilde hizalanır. Tip-I LED'ler ve lazerler, tip-II heteroyapılar fotovoltaik ve fotokatalitik ve tip-III heteroyapılar, fotodedektör gibi uygulamalarda kullanılırlar.

Bu çalışmada grup-III Janus dikalkojenleri ile farklı tek tabakalar ile vdW heteroyapılar oluşturulmuştur. Bu heteroyapılar, Janus tek tabakasındaki kalkojen atomlarının yerleri değiştirilerek elde edilmiştir. Olası tüm istiflenme desenleri ele alınmıştır, enerji ve dinamik olarak kararlı olan yapılar belirlenmiştir. Kararlı bulunan heteroyapıların elektronik bant yapıları, bant hizalanmaları ve optik özellikleri katmanlar arası mesafeleri değiştirilerek (düzlem dışı bir zorlama uygulanarak) araştırılmıştır.



Şekil 1: Yarı iletken/Janus grup-III vdW heteroyapılarının arayüz değişiminin şematik gösterimi

Teşekkür:

Bu çalışma 21B0443001 nolu proje ile Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. L. Hu ve D. Wei, "Janus group-III chalcogenide monolayers and derivative type-II heterojunctions as water-splitting photocatalysts with strong visible-light absorbance", *The Journal of Physical Chemistry C*, **122(49)**, 27795-27802 (2018).
2. A. Lu, vd., "Janus monolayers of transition metal dichalcogenides", *Nature nanotechnology*, **12(8)**, 744-749 (2017).

Esnek ve Esnek Olmayan Altaşlar üzerine İnterdigital Elektrotların Aerosol Jet Baskı Yöntemi ile Geliştirilmesi

Tuğçe Ataşer¹, Esra Balcı^{1,2}, Mustafa Eren Poyraz^{1,3}, Berk Serbest^{1,3}, Nihan Akın Sönmez^{1,3}, Süleyman Özçelik^{1,3}

¹Gazi Üniversitesi, Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Fotonik Bölümü, Ankara

³Gazi Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Fotonik Bölümü, Ankara

tugceataser@gmail.com

Son zamanlarda, mürekkepli baskı teknolojisi hızlı üretim, düşük maliyet ve çevre dostu gibi özelliklerinden dolayı hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu teknolojinin en yenilerinden olan Aerosol jet baskı teknolojisi, temassız ve maskesiz olarak doğrudan esnek ve esnek olmayan altaşlara 100 ile 10 µm arasında çizgi genişliğine sahip elektrotların üretilmesine olanak sağlar [1,2]. Geliştirilecek ürüne göre gümüş, altın, platin, rutenat, poliimid, UV akrilikler, organik yarıiletkenler, proteinler, enzimler gibi çeşitli mürekkepler kullanılabilir. Baskı kalitesi mürekkebin bileşimi ve özellikleri, proses kontrol modülü (sheat gazı akışı, atomizer akışı), baskı hızı ve altaş seçimi gibi birçok faktörden etkilenir [3-5]. Bu nedenle, yüksek iletkenlik elde edebilmek için sistem iyi optimize edilebilmelidir.

İnterdigital elektrotların genişliği, kalınlığı ve geometrik şekli gibi parametreler elektronik cihazların performanslarını önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmada, esnek ve esnek olmayan altaşlar üzerine aktif alanı daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için farklı geometrilere sahip interdigital elektrotlar geliştirildi. Elektrotlar, Aerosol jet baskı yöntemi ile gümüş mürekkep (JS-A102A) ultrasonik atomizer kafa kullanılarak Kapton, PET, Si, Ge ve cam üzerine basıldı. Farklı geometrilere sahip interdigital elektrotların genişliği, kalınlığı ve dirençleri karşılaştırıldı. İnterdigital elektrotların çizgi genişlikleri 15 ile 80 µm aralığında, kalınlıkları 1 ile 2 µm aralığında ve dirençleri 0.9 ile 0.5 Ω arasında değişmektedir.

Teşekkür: Bu çalışma, 2016K121220 nolu proje ile Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. N. J. Wilkinson, M. A. A. Smith, R. W. Kay, R. A. Harris, "A review of aerosol jet printing—a non-traditional hybrid process for micro-manufacturing" *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **105**, 4599–4619 (2019).
2. Sarah Vella, Chad Smithson, Kurt Halfyard, Ethan Shen and Michelle Chrétien, "Integrated capacitive sensor devices aerosol jet printed on 3D objects", *Flex. Print. Electron*, **4**, 045005 (2019).
3. Shiheng Lu, Joanne Zheng, Jorge A. Cardenas, Nicholas X. Williams, Yuh-Chen Lin, and Aaron D. Franklin, "Uniform and Stable Aerosol Jet Printing of Carbon Nanotube ThinFilm Transistors by Ink Temperature Control", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **12**, 43083–43089, (2020).
4. Mauro Serpelloni, Edoardo Cantù, Michela Borghetti, Emilio Sardini, "Printed Smart Devices on Cellulose-Based Materials by means of Aerosol-Jet Printing and Photonic Curing", *Sensors*, **20**, 841 (2020).
5. Mohammed Alhendi, Rajesh S. Sivasubramony, Darshana L. Weerawarne, Joseph Iannotti, Peter Borgesen, Mark D. Poliks, "Assessing Current-Carrying Capacity of Aerosol Jet Printed Conductors", *Adv. Eng. Mater.*, **22**, 2000520 (2020).

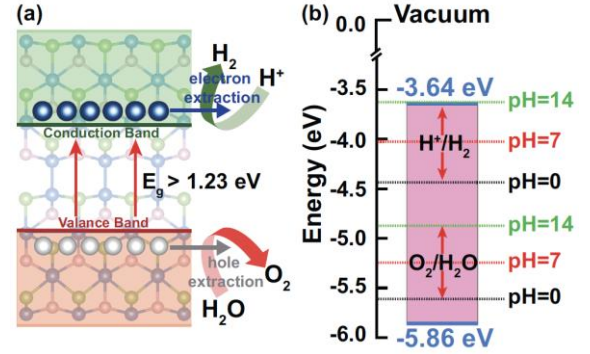
Verimli Fotokatalitik Su Ayrıştırma İçin İki Boyutlu Janus GePAs Yapısının İncelenmesi

Doğukan Hazar ÖZBEY¹, Mehmet Emin KILIÇ², Engin DURGUN¹

¹UNAM - Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi ve Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü, Bilkent Üniversitesi, 06800, Ankara Türkiye

²Computational Science Research Center, Korea Institute of Science and Technology, 02792, Seoul Republic of Korea

Güneş, fosil yakıtlara kıyasla tükenmez bir doğal enerji kaynağı olarak kabul edilir. Kömür ve petrol gibi yakıtların sınırlı miktarda olması ve bunların doğaya etkileri düşünüldüğünde, güneş ışığını toplama ve enerji üretme kabiliyetine sahip herhangi bir uygulama son derece önemli hale gelmektedir. Gelecekteki enerji talebini giderebilecek potansiyel mekanizmalardan biri fotokatalizdir ve uygun elektronik ve optik özelliklere sahip iki boyutlu (2B) malzemeler fotokatalitik uygulamalar için yeni olanaklar sunmaktadır [1]. Bugüne kadar çeşitli 2B malzemeler uygun adaylar olarak belirtilmiş olsa da, su ayrıştırma için yüksek fotokatalitik verimliliğe sahip malzemeler hala minimum düzeyde performans sergilemektedir [2]. Bu bağlamda, bu çalışma ile yeni bir 2B Janus GePAs tek tabakalı yapısını önerilmiş ve malzemenin fotokatalitik su ayrıştırma kabiliyeti, ilk prensipler yoğunluk fonksiyonel teorisi (Density Functional Theory) uygulanarak incelenmiştir. GePAs tek tabakalı yapısının sağlam dinamik ve termal kararlılığa sahip olduğu gösterilmiştir. Gergin ve gergin olmayan tek tabakalı yapıların görünür bölgedeki doğrudan elektronik bant aralığı ve bant kenarı konumlarının, geniş pH aralıklarında redoks reaksiyonları için uygun olduğu ortaya çıkarılmıştır. Yüksek ve anizotropik taşıyıcı hareketliliği sayesinde yük



Şekil 1: a) Bir yarı iletken fotokatalizör kullanarak su ayrıştırma işleminin temsili. b) Vakum seviyesine göre GePAs tek tabakalı yapısının bant kenarı konumları (VBM ve CBM).

taşıyıcılarının yeniden birleşme olasılığının düşük olması, malzemenin fotokatalitik potansiyelini arttıran etkenlerden biridir. Bunun yanında, çok elektron etkileşimlerini içeren optik hesaplamaları, UV-görünür aralıkta önemli derecede yüksek değerlerde optik soğurma kapasitesi sergilemektedir. Ayrıca, ultra düşük eksiton bağlanma enerjisi, serbest elektronlara ve deliklere ayrılmayı kolaylaştırarak fotokatalitik reaksiyonları teşvik eden diğer bir etken olarak oraya çıkmaktadır. Böylece çalışmamız 2B GePAs yapısının, görünür ışıkla çalışan fotokatalitik uygulamalarda kullanılmak üzere ideal ve oldukça umut verici bir malzeme olduğunu öne sürmektedir[3].

Teşekkür: Bu çalışma 117F383 nolu proje ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. A. K. Singh, K. Mathew, H. L. Zhuang, and R. G. Hennig, "Computational screening of 2d materials for photocatalysis", J. Phys. Chem. Lett, vol. 6, no. 6, pp. 1087- 1098 (2015).
2. B. Luo, G. Liu, and L. Wang, "Recent advances in 2d materials for photocatalysis", Nanoscale, vol. 8, no. 13, pp. 6904-6920 (2016).
3. D. H. Ozbey, M. E. Kilic and E. Durgun, "Two-dimensional Janus GePAs monolayer: A direct-band-gap semiconductor with high and anisotropic mobility for efficient photocatalytic water splitting", Phys. Rev. Appl.

Al Katkılı Demir Oksit Yapısının Saçırma Tekniği ile Büyütülmesi ve Tavlama Sıcaklığının Film yapısına Etkisi

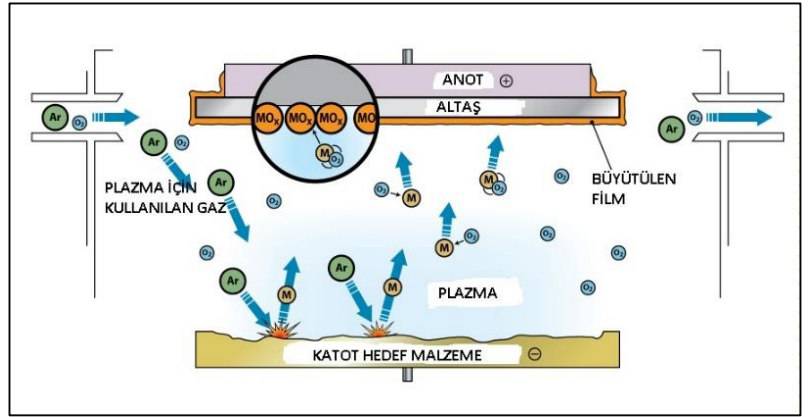
Sevda Sarıtaş¹, Erdal Turgut², Bekir Gürbulak³, Mutlu Kundakçı³, Muhammet Yıldırım³

¹İspir Hamza Polat Meslek Yüksekokulu, Atatürk Üniversitesi, Elektrik Enerji Bölümü, 25240, Erzurum

²Aşkale Meslek Yüksekokulu, Atatürk Üniversitesi, Elektrik Enerji Bölümü, 25240, Erzurum

³Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü 25240 Erzurum

Elektronüğün temel yapı taşı olan yarıiletkenlerin; yapısal ve optik özelliklerinin incelenmesi uygulama alanlarında daha iyi sonuçlar elde etmek için oldukça gereklidir. Özellikle yarıiletken malzemelerin yapısal özellikleri hakkında oldukça fazla bilgi sunan X Işını Kırınımı (XRD) spektrometresi bu açıdan önemlidir. XRD analiz ile, malzeme yapısı (kristal/amorf), kristalin malzemeler için kalitatif analiz, latis parametresinin hesaplanması, düzlemler arası mesafenin belirlenmesi, miller indislerinin hesaplanması, kristal kafes yapısının belirlenmesi gibi özellikler belirlenebilir. Ayrıca ince filmler hakkında optik özellikler açısından önemli bilgiler sunan ve yasak band aralığı hesaplamalarında oldukça önemli olan soğurma ölçüleri de önem arz etmektedir. Bu çalışmada alüminyum katkılu Fe_2O_3 ince filminin yapısal ve optik özellikleri araştırılmıştır. RF magnetron saçırma (sputter) yöntemi ile büyütülen $Fe_2O_3:Al$ filminin tavlandıktan önce ve tavlandıktan sonra XRD ve soğurma ölçüleri alınmıştır. Tavlandıktan önce 2.47 eV luk bir band aralığına sahip olup herhangi bir XRD piki vermemiştir. İnce film, 560°C tavlama sonrası 2.51 eV luk yasak band aralığı ve en şiddetli piki 33,46 derecede olmak üzere çeşitli şiddetlerde XRD pikleri vermiştir.



Şekil 1: Supetter(Saçırma) mekanizması (Inf.umich.edu)

Teşekkür: Bu çalışma 8217 nolu proje ile Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir.

Plazmonik Fano Rezonans ile Üçüncü Harmonik Işık Çevriminin Baskılanmasının Nümerik Simülasyonu

Asrın Üzgüç¹, Deniz Eren Mol², Kübra Atar³, Sena Taşkıran¹

¹Hacettepe Üniversitesi, Fizik Mühendisliği, 06800, Ankara

²Hacettepe Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, 06800, Ankara

³Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, 06800, Ankara

Metal nanoparçacıkların üzerine gelen elektromanyetik dalgaları nanometre boyutlarında sıkıştırarak oluşturdukları yüzey plazmonları, önemli bir çalışma alanı olan Plazmonik'in temellerini oluşturur. Güçlü şekilde lokalize olan ışığın şiddeti artar ve 2. ve 3. harmonik üretimi gibi doğrusal-olmayan proseslere yol açar. Bu plazmonik prosesler voltaj ile ayarlanabilir kuantum nesnelere (ör. kusur noktaları ve kuantum noktaları) kullanarak voltajla ayarlanabilirler. Yerleştirilen kuantum nesnesi çevrim yollarının girişimine yarar; Fano rezonans. Bu çalışmada daha önce gösterilmemiş olan plazmonik 3. harmonik frekans çevriminin güçlendirilmesinin FDTD simülasyonunu yaparak 3. harmonik çevriminin belli bir uygulanan voltaj için baskılanmasını (kapatılmasını) göstermek istemekteyiz.

Sistemde Fano Rezonansın sistemin doğrusal olmayan yanıtını kontrol edebilme özelliğini kullanarak:

1. Işığın üçüncü harmonik çevrimini yaratmayı.

2. Bu ışık çevriminin baskılanmasını göstermekteyiz.

Bu doğrusal olmayan etkileri göstermek için tasarladığımız sistem ise altın bir nanoparçacık üzerine düşen ışık ve bu sistemde ortama veya sisteme nanoparçacık olarak eklenen bir doğrusal olmayan elemanın kullanılmasıyla oluşturulur, bu doğrultuda tasarladığımız sistem altın nanoparçacık ve ortama eklenen bir duyarlılık(ksi) türü doğrusal olmayan etkiyle çalışmakta .

Sistemde üçüncü harmonik çevrimini gözlemledikten sonra sisteme bir Quantum Emitter eklediğimiz durumda ve spesifik olarak bir aralık seviyesi(level spacing) seçtiğimiz durumda sistemdeki ışığın baskılanmasını gösterebiliriz:

$$\omega_{eg} = 3\omega$$

Bu sistemde seçtiğimiz değerler ışığın üçüncü çevrimi için seçilmiş değerlerdir.

Teşekkür:

Bu Projemizde bize her zaman destek olan ve yol gösteren değerli hocalarımız Mehmet Emre Taşgın, Ramazan Şahin ve Taner Tarık Aytas'a teşekkür ederiz.

Kaynakça

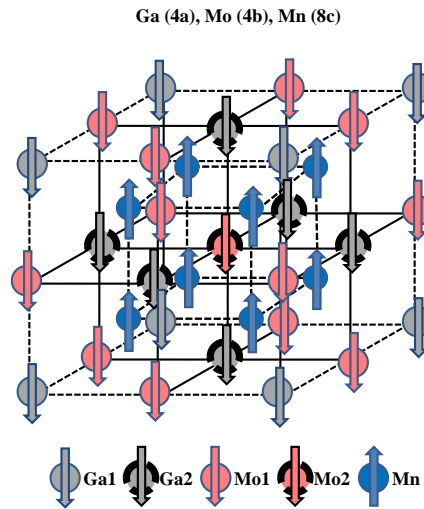
1. Deniz Turkpence, Gursoy B Akguc, Alpan Bek ve Mehmet Emre Tasgin, "Engineering nonlinear response of nanomaterials using Fano resonances", J. Opt. 16, 105009 (2014).
2. Mehmet Günay, Zafer Artvin, Alpan Bek, Mehmet Emre Tasgin, Controlling steady-state second harmonic signal via linear and nonlinear Fano resonances, Journal of Modern Optics 67, 26-34 (2020).

Mn₂MoGa Heusler Alaşımının Manyetik Özellikleri

Ayşe Duran

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 43020, Kütahya

Bu çalışmada, Mn₂MoGa Heusler alaşımının manyetik özellikleri Etkin Alan Teorisi ile incelendi. Alaşım, L2₁ kübik kristal yapısında ve antiferromanyetik düzende kararlıdır (Şekil 1) [1]. Hesaplamalar sonucunda, sıcaklık artırıldığında alaşımın mıknatıslanmasının azaldığı ve alaşımın antiferromanyetik fazdan paramanyetik faza, 139,6 K Curie sıcaklığında ikinci derece faz geçişi sergilediği gözlemlendi. Ayrıca mıknatıslanmanın dış manyetik alanla değişimi incelendiğinde, düşük sıcaklık değerlerinde üç kritik alanlı (H_{C1}, H_{C2} ve H_{C3}) basamak-benzeri (step-like) ve kelebek-benzeri (butterfly-like) histeresiz davranışı gösterdiği gözlemlendi. Düşük sıcaklıklardaki step-like histeresiz davranışı, mıknatıslanmanın kuantum tünellenmesi yüzündendir. Bu nedenle, Mn₂MoGa Heusler alaşımının manyetik depolama cihaz uygulamalarına potansiyel bir üye olabileceğini söyleyebiliriz. Aynı zamanda basamak-benzeri (step-like) ve kelebek-benzeri (butterfly-like) histeresiz davranışı alaşımın tip-II süperiletkenliği sergilediğini de göstermektedir.



Şekil 1: Mn₂MoGa Heusler alaşımının Kristal Yapısı ve Spin Yönelimleri

Teşekkür:

Bu araştırma Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2021-01 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.”

Kaynakça

1. L. Wollmann, S. Chadov, J. Kübler, C. Felser, “Magnetism in cubic manganese-rich Heusler compounds”, *Physics Rev. B*, **90**, 214420 (2014).

Etanol-Su ve Etanol-Metanol Karışımlarını Algılayabilen Mikroşerit Yapıda Dielektrik Sensör Tasarımı

Fulya Bağcı¹, Mustafa Suphi Gülsu¹, Sultan Can², Asım Egemen Yılmaz², Barış Akaoglu¹

¹Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara

²Ankara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06830, Ankara

Elektromanyetik sensörler sağlık izleme, hasar tespiti, madde miktarı belirleme gibi pek çok alanda sıklıkla kullanılan sensör çeşitlerinden biridir. Elektromanyetik sensörler arasında üretim kolaylığı, kompakt oluşları ve pratik ölçüm alabilme kabiliyetlerinden ötürü mikrodalga sensörler önemli bir yer tutmaktadır. Mikrodalga frekanslarda katı, sıvı veya gaz formda malzemelerin karmaşık dielektrik sabitlerinin belirlenmesinde rezonant özellikli yapılar ilgi çekmektedir [1, 2].

Bu çalışmada dielektrik bir alttaş kullanılarak bakır kaplı toprak düzleminde fraktal yapıda slot rezonatör, ön yüzünde mikroşerit iletim hattı içeren bir mikrodalga sensör yapısı tasarlanmış ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımda üç boyutlu ticari bir tam-dalga simülasyon programı olan CST Microwave Studio programı kullanılmıştır. Tasarlanan rezonatör 1,96 GHz frekansta bir iletim rezonansına sahiptir. Sensör yapısı, Rogers RT/Duroid 5880 alttaş üzerine baskı devre yöntemi ile üretilmiş ve rezonatörün merkezinden alttaşa dik olarak 1,5 mm çaplı bir delik açılarak kılcal cam bir tüp geçirilmiştir. Hacimsel oranları %0 ile %100 arasında %20 aralıklar ile değişen etanol-su ve etanol-metanol ikili karışımları kılcal tüpten geçirilerek network analizörü ile saçılma parametresi ölçümleri alınmıştır. Ölçülen rezonans frekans ve iletim katsayısı büyüklükleri ile karmaşık dielektrik sabiti değişimleri arasında birinci dereceden bir model oluşturularak en küçük kareler yöntemi ile çözümlenmiş ve her bir karışım için karmaşık dielektrik sabitleri belirlenmiştir. Belirlenen dielektrik sabiti değerlerinin literatür verileri ile uyumlu olduğu gösterilmiştir. Tasarlanan ve üretilen sensör, sıvı numune ile temas etmeme, ucuz ve kolay üretilebilir olma ve küçük hacimlerdeki sıvı karışımlarını algılayabilme avantajlarına sahiptir.

Teşekkür:

Bu çalışma 21B0443004 no'lu proje ile Ankara Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

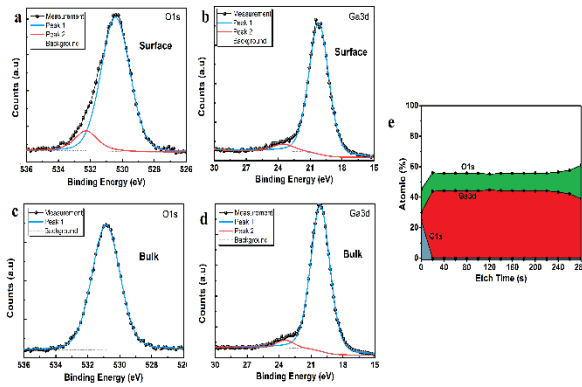
1. L. Su, J. Mata-Contreras, P. Vélez, F. Martin, Int. J. Antennas Propag., **2017**, 5619728 (2017).
2. M.S. Gülsu, F. Bağcı, S. Can, A.E. Yılmaz, B. Akaoglu, Sens. Actuator A Phys. **330**, 112841 (2021).

Plazma ile güçlendirilmiş atomik katman birikim tekniği ile elde edilen Ga₂O₃ ince katmanın dielektrik özellikleri

Yosef Badali, Engin Arslan

Antalya Bilim Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, 07190, Antalya

Amorf galyum oksit (Ga₂O₃) ince filmler, plazma ile güçlendirilmiş atomik katman biriktirme kullanılarak elektronik cihaz uygulamaları için kapı dielektrikleri olarak araştırıldı. Ga₂O₃ ince filmlerinin yapısal ve morfolojik özelliklerinin yanı sıra elektriksel ve dielektrik davranışları araştırıldı. Ga₂O₃ ince filmin XPS derinlik profili analizi sonuçları, Ga/O oranının 0,8 olarak bulunduğunu ve bu oranın optimum 2/3 oranına (0,67) oldukça yakın olduğunu göstermektedir.

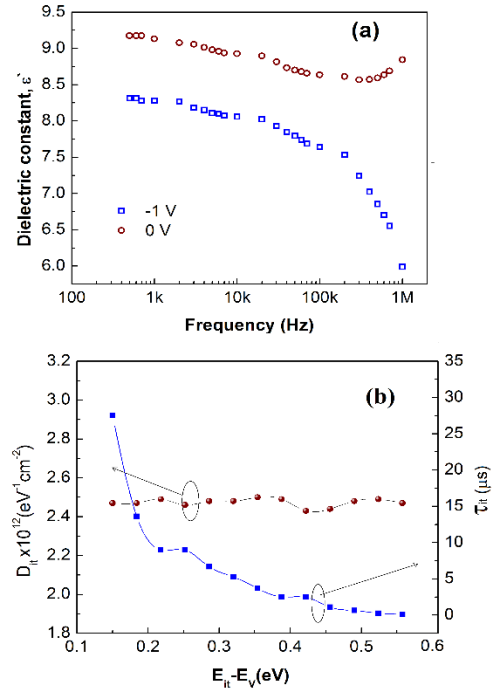


Şekil 1: XPS spectra of a) O1s and b) Ga3d for the Ga₂O₃ film surface and c) O1s and d) Ga3d for the Ga₂O₃ thin film bulk. e) Atomic percentage of Ga, O and C elements in the ~30 nm thick amorphous Ga₂O₃ thin film obtained via XPS depth profiles.

Uygulanan frekanstan bağımsız olarak, Ga₂O₃ ince filmler sıfır öngerilim voltajında iyi bir dielektrik sabiti sergiler. Şekil 2a'da görüldüğü gibi, dielektrik sabiti yaklaşık 9'dur ve sıfır sapmadaki frekansa bağlı olarak fazla değişmez. Bu dielektrik değerler önceki araştırmalarla tutarlıdır [1]. Geleneksel dielektrik oksitler, dielektrik sabitinin gerçek bileşeni için bir dağılım davranışına sahiptir.

Kaynakça:

1. L. Yuan, S. Li, G. Song, X. W. Sun, X. Zhang, "Solution-processed amorphous gallium oxide gate dielectric for low-voltage operation oxide thin film transistors" J. Mater. Sci.: Mater. Electron., 32 8347–8353 (2021).
2. E. Arslan, S. Butun, Y. Safak, E. Ozbay, "Investigation of trap states in AlInN/AlN/GaN heterostructures by frequency-dependent admittance analysis" J. Electron. Mater. 39 2681-2686 (2010).



Şekil 2: a) Oda sıcaklığında Au/Ni/Ga₂O₃/p-Si yapısının ϵ' - f grafikleri b) Enerjinin bir fonksiyonu olarak D_{it} ve τ elde etmek için iletkenlik tekniği kullanıldı.

Kapsamlı $C-V$ analizi, Ga₂O₃/p-Si arayüzünde düşük tuzak yoğunlukları gösterdi. D_{it} değerleri, maksimum $(Gp/\omega)_{max}$ değerlerinin 2.5 ile çarpılmasıyla hesaplanır ($D_{it} \approx 2.5/Aq(Gp/\omega)_{max}$ ve arayüz durumu gevşeme süresi $\tau \approx 1.98/\omega p$ [2] ile tahmin edilir. Şekil 2b, değerlik bandı kenarından enerji ayrımının bir fonksiyonu olarak çıkarılan D_{it} ve onun τ değerlerini gösterir Şekil 2b'de görüldüğü gibi, D_{it} değerleri $(2.43-2.50) \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ idi ve enerji ile neredeyse sabittir. Geçit dielektrik ve cihaz pasivasyon uygulamalarının üretimi, bu tür düşük D_{it} değerlerine çok uygundur. Ayrıca, orta boşluktan bant kenarlarına kadar, arayüzde tutulan şarj ömrü $(0.45 \text{ ila } 31.52) \times 10^{-6} \text{ s}$ arasında değişmektedir. Bu sonuçlar 1 MHz'den büyük frekanslarda, tuzaklardaki arayüz yükleri AC sinyaline kolayca ayak uyduramadığını göstermektedir.

İnce Film Transistör Uygulamaları İçin Aktif Katman a-IGZO Filmlerin Karakterizasyonu

G. Kurtuluş^{1,2}, V. Baran¹, T. Asar^{1,2}, S. Özçelik^{1,3}

¹Gazi Üniversitesi, Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ankara

³Gazi Üniversitesi, Fotonik Bölümü, Ankara

grkkurtulus@gmail.com, sozcelik@gazi.edu.tr

Şeffaf oksit yarıiletkenler, eşsiz optik ve elektriksel özellikleri nedeniyle opto-elektronik uygulamalar için önem arz etmektedir [1]. Bu çalışmada, a-InGaZnO-tabanlı transistör uygulamaları için görünür bölgede yüksek optik geçirgenliğe sahip, düşük özdirençli a-InGaZnO ince filmlerin geliştirilmesi hedeflendi. Bu amaç doğrultusunda farklı Argon (Ar) çalışma basınçları (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 mTorr) altında eş-odaklı püskürtme sistemi kullanılarak Silisyum (Si) ve cam alttaşlar üzerine 100 nm kalınlıklı 6 set ince film üretimi gerçekleştirildi. Üretilen filmlerin yapısal özellikleri XRD ölçümleri ile incelendi. XRD spektrumlarından filmlerin amorf yapıda olduğu belirlendi. Üretilen a-InGaZnO ince filmlerde çalışma basıncı arttıkça filmlerin yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı AFM ölçümleri ile tespit edildi. Görünür bölgede (450-750 nm), üretilen

filmlerin hepsi için ortalama geçirgenlik değerinin % 80'den daha fazla olduğu UV-Vis ölçümleri ile belirlendi. Soğurma kenarının değişen çalışma basıncından etkilenmediği tespit edildi. Çalışma basıncı arttıkça üretilen filmlerin optik enerji bant aralığı değerlerinin hemen hemen sabit kaldığı gözlemlendi. 20 mTorr ve üzeri çalışma basınçları altında elde edilen a-InGaZnO ince filmlerin özdirenç değerlerinin daha düşük çalışma basınçları altında elde edilenlere kıyasla daha iyi olduğu belirlendi. Oksijen boşluklarının a-InGaZnO filmlerin ana taşıyıcı kaynağı olduğu düşünülmektedir. 20 mTorr'dan itibaren yüksek çalışma basınçları altında elde edilen ince filmlerin daha düşük özdirenç değerlerine sahip olmasının, oksijen boşluklarının azalmasından kaynaklı taşıyıcıların azalması ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir [2].

Teşekkür: Bu çalışma, 2016K12-121220 no'lu proje ile Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça:

1. Kim, H. K., Lee, K. S., & Kwon, J. H. (2006). Transparent indium zinc oxide top cathode prepared by plasma damage-free sputtering for top-emitting organic light-emitting diodes. *Applied physics letters*, 88(1), 012103.
2. Chen, X. F., He, G., Liu, M., Zhang, J. W., Deng, B., Wang, P. H., ... & Sun, Z. Q. (2014). Modulation of optical and electrical properties of sputtering-derived amorphous InGaZnO thin films by oxygen partial pressure. *Journal of alloys and compounds*, 615, 636-642.

Stent Tasarımı ve Eş-Odaklı Geometriye Sahip Püskürtme (sputtering) Yöntemiyle Üretilen TiO_xN_y İnce Filmlerin Analizleri

Y. Özkök^{1,2}, N. Akın Sönmez^{1,3}, B. Akman^{1,4}, V. Baran¹, M. Çakmak^{1,3}, S. Özçelik^{1,3}

¹Gazi Üniversitesi, Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ankara

³Gazi Üniversitesi, Fotonik Bölümü, Ankara

⁴Gazi Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Ankara
yelizozkok@gmail.com, sozcelik@gazi.edu.tr

Kalp damar hastalığı olan damar tıkanıklığı tedavisinde normal kan akışının geri kazanılması amacıyla daralmış damar içine stentler yerleştirilmektedir [1]. Stent içi restenozunun yüksek insidansı bulunan çıplak metal stentlere (BMS) ve implantasyondan sonra geç tromboz riskinin artmasına yol açabilen ilaç salınımlı stentlere (DES) alternatif olarak yeni nesil biyolojik aktif stent (BAS) diye tanımlanan Titanyum Oksinitrür (TiO_xN_y) kaplamalı stentler geliştirilmiştir [2]. Restenoz, kütle kaybı ve hedef vaskülarizasyonunda iyi sonuçlar veren, trombosit yapışmasını ve fibrinojen bağlanmasını azaltan TiO_xN_y kaplı stentler ayrıca paslanmaz çelik yüzeyden krom, nikel, molibden ya da başka metallerin göçünü, iltihaplanmayı ve toksisiteyi azaltır. TiO_xN_y kaplamalarında titanyum inerttir, mükemmel korozyon direncine sahiptir ve biyoyumluluk geliştirir, titanyum oksit stent uyumluluğunu canlı hücreler ve kanla iyileştirir, azot ise trombosit yapışmasını ve fibrinojen bağlanmasını azaltır [1]. Bu çalışmada, SOLIDWORKS programı ile kendi stent tasarımı yapıldı. Tasarladığımız stentin dış çapı, iç çap, et kalınlığı ve uzunluğu sırasıyla 4 mm, 3,50 mm, 0,25 mm ve 40 mm'dir. Üretilen stentlere TiO_xN_y kaplamadan önce ilk olarak optimize kaplama koşullarını belirlemek amacıyla; 316L paslanmaz çelik, katkısız silisyum, mikroskop camı, SLG (soda lime

glass), corning glass gibi alttaşlar üzerine üç farklı DC bias voltajında (0V, -50V ve -100V) eş-odaklı geometriye sahip püskürtme (sputtering) yöntemiyle TiO_xN_y ince filmler reaktif olarak geliştirildi. Hedef malzemesi olarak TiN ve reaktif gaz olarak O_2 kullanıldı. Kaplama işleminde argon basıncı 3 mTorr da tutuldu. Ar/ O_2 oranı ise 85/15 olarak uygulandı. Mikroskop camı, SLG ve corning glass alttaşlar üzerine kaplanan numunelerin optik özellikleri UV-Vis spektrometre ölçümleri ile değerlendirildi. Numunelerin %80 civarında yüksek geçirgenliklere sahip oldukları belirlendi. Optik-enerji bant aralıklarının ise 3,73 eV ile 3,98 eV arasında olduğu bulundu. Katkısız silisyum ve 316L paslanmaz çelik alttaşlar üzerine kaplanan ince filmlerin yüzey morfolojisi atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile incelendi. Katkısız silisyum numuneleri üzerinde elde edilen ince filmler $3 \times 3 \mu m^2$ yüzey alanında tarandı. RMS değerleri, 0V, -50V ve -100V bias için sırasıyla 0,92 nm, 0,88 nm ve 0,88 nm olarak belirlenirken, 316L paslanmaz çelik numuneleri üzerine kaplanan ince filmler ise daha geniş bir alanda görebilmek hedefi ile $20 \times 20 \mu m^2$ yüzey alanında tarandı. RMS değerleri, 0V, -50V ve -100V bias için sırasıyla 64,92 nm, 82,94 nm ve 65,53 nm olarak belirlendi. Elde edilen sonuçlara göre tasarlanan stente TiO_xN_y kaplanması hedeflenmektedir.

Teşekkür: Bu çalışma, 2019K12-149045 nolu proje ile Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça:

1. Beshchasna, N., Ho, A. Y. K., Saqib, M., Kraśkiewicz, H., Wasyluk, Ł., Kuzmin, O., Duta, O.C., Ficai, D., Trusca, R. D., Ficai, A., Pichugin, V. F., Opitz, J., Andronescu, E. (2019). Surface evaluation of titanium oxynitride coatings used for developing layered cardiovascular stents. *Materials Science & Engineering, C* 99, 405-416.
2. Gotman, I., Gutmanas, E.Y. (2014). Titanium nitride-based coatings on implantable medical devices. *Advanced Biomaterials and Devices in Medicine*, 1, 53-73.

Ferrimanyetik All d-Metal Heusler Alaşımlar

Ahmet Mohammed Ali Alsufok¹, Gülistan Mert²

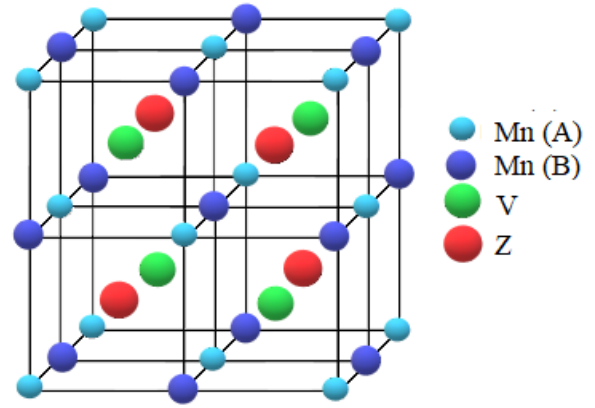
¹Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 42075, Konya,

²Selçuk Üniversitesi, Fizik Bölüm, 42075, Konya

Heusler bileşikler, 1500 'den fazla alaşımdan oluşan X_2YZ bileşimi ve XYZ yarı-Heusler bileşimi ile son yıllarda dikkat çeken bir intermetalik malzeme sınıfıdır. 1903 'de F. Heusler tarafından keşfedilişinden beri hala aktif bir araştırma alanıdır [1]. Yarı-metalik-ferromanyetik malzemeler, Fermi enerjisinde simetrik olmayan band yapısına sahiptirler. Sahip oldukları simetrik olmayan bu band yapısından dolayı spintronik uygulamalar için tüm şartları karşılamaktadırlar. Bu sıra dışı özellik, yarı-metalik ferromanyetikleri spintronik teknolojisi için ideal birer aday yapmaktadır. Yarı-metalik ferromanyetik Heusler alaşımlar üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Ama daha avantajlı bir durum yarı-metalik ferrimanyetik Heusler bileşiklerin incelenmesidir. Küçük manyetik moment ve yüksek Curie sıcaklığının ilave avantaj sağlamasından dolayı yarı-metalik ferrimanyetler manyetoelektrik uygulamalarda ferromanyetik yarı-metaliklerden daha çok avantaja sahiptir. Çoğunlukla Mangan tabanlı Heusler bileşikler ferrimanyetik özellik gösterir.

$L2_1$ kristal yapısına sahip Mn_2VZ Heusler bileşikler, iç içe geçmiş dört yüzey merkezli kübik (ymk) örgüden oluşur (Şekil 1). Burada X ve Y atomu geçiş metallere, Z atomu ise manyetik olmayan elementlerden oluşur. All d-metal Heusler bileşiklerde ise Z atomu da yine bir geçiş elementidir. Bu Z elementi manyetik momente

küçük katkı sağlamasına rağmen manyetik geçişlerin gözlenmesinde önemli rol oynar [2].



Şekil 1: Mn_2VZ Heusler tipi model

Rasgele Faz yaklaşımıyla Green Fonksiyon Metodu yarı-metalik Heusler bileşiklerde deneylerle iyi uyum sağlar [3]. Heisenberg Hamiltoniyeni iç içe geçmiş dört tane ymk örgüden oluşan Heusler bileşiklerin manyetik özelliklerini incelemek için idealdir. Mn_2VZ ($Z = Ti$ ve Sc) bileşiğinde ferrimanyetik düzen antiferromanyetik Mn-Mn etkileşimlerinden kaynaklanır. Ayrıca, sisteme dış manyetik alana uygulandığında birinci derece faz geçişleri gözlenir.

Kaynakça

1. F. Heusler, Verh. Dtsch Phys. Ges. **5**, 219 (1903).
2. G. Mert, Magnetic phase transitions of all-d metal Heusler type model, J. Alloy. Comp. **819**, 153299 (2020).
3. E. Şaşıoğlu, L. M. Sandratskii, P. Bruno, I. Galanakis, Exchange interactions and temperature dependence of magnetization in half-metallic Heusler alloys, Phys. Rev. B, **72**, 184415 (2005).

$B_{1-x-y}Al_xGa_yN$ Alaşımlarının Farklı Basınç Değerlerindeki Yapısal, Elektronik, Elastik, Optik Ve Dinamiksel Özelliklerinin ab-Initio Metotla İncelenmesi

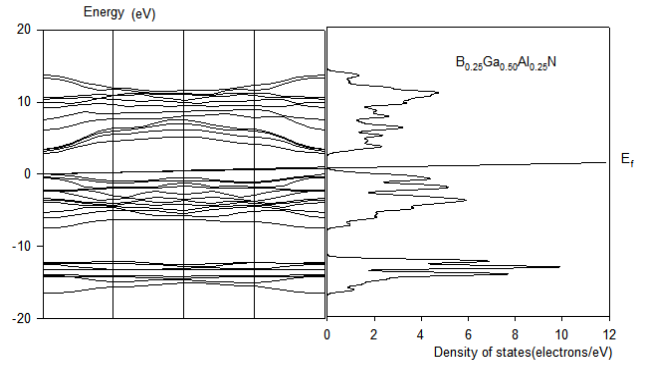
Ali Gültekin¹, Ahmet Demirci², Mustafa Kemal Öztürk³

¹Mamak Bilim Sanat Merkezi, 06270, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Fotonik Bilimi ve Mühendisliği A.B.D., 06560, Ankara

³Gazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06560, Ankara

Yarıiletken alaşımlara, elektronik ve optik özelliklerinden dolayı sürekli artan bir talep vardır. Bu sebepten dolayı II-VI ve III-V bileşikler detaylı olarak incelenmiştir. BN, AlN, GaN ve BN yarıiletken bileşikler geniş band aralığına sahip olmaları ve elektronik cihazlarda veri depolamada kullanılmalarından dolayı çok ilgi görmektedirler [1-2]. Gelişmekte olan Grup III-Nitrür teknolojisi, ışık yayan diyotların (LED' ler), lazer diyotların (LDS) ve modülasyon katkılı transistörlerin (MOSFET) gelişmesine katkı sağlamıştır[3].



Şekil 1: Fermi seviyesi 0 eV ve 0 Pa Basınçta $B_{0.25}Ga_{0.50}Al_{0.25}N$ alaşımının band yapısı ve DOS

Bu çalışmada AlN, GaN ve BN yarıiletken bileşikler kullanarak $B_{1-x-y}Al_xGa_yN$ alaşımları elde edildi. X, y katkılama değerlerine bağlı olarak elde edilen alaşımların farklı basınç değerlerindeki; optik, elektronik, dinamiksel ve termodinamik özellikleri ve ikinci sıra elastik sabitleri hesaplandı. Şekil 1' de Fermi seviyesi 0 eV ve 0 Pa Basınçta $B_{0.25}Ga_{0.50}Al_{0.25}N$ alaşımının band yapısı, DOS' u hesaplandı ve gösterildi.

Kaynakça:

1. Y. Sugimoto // Jpn J. Appl. Phys. **35**, p. 174(1996).
2. T. Lei, T.D. Moustakas, R.J. Graham, Y. He, and S.J. Berkowitz // J. Appl. Phys. **71**, p. 4933 (1992).
3. S.J. Hwang, W. Shan, R.J. Hauenstein, and J.J. Song // Appl. Phys. Lett. **64**, p. 2928 (1994).

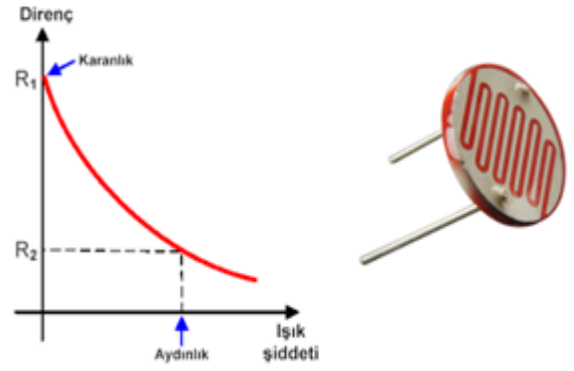
LDR'nin Kullanıldığı Kodlu Ve Kodsuz Elektronik Devreleri Karşılaştırmak

Ali Gültekin¹, Ahmet Demirci², Mustafa Kemal Öztürk³¹Mamak Bilim Sanat Merkezi, 06270, Ankara²Gazi Üniversitesi, Fotonik Bilimi ve Mühendisliği A.B.D., 06560, Ankara³Gazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06560, Ankara

Kapalı alanlarda, ofislerde, ortak yaşam alanlarında, fabrikalarda gündüzleri ışık kullanılır, aydınlatma için harcanan enerjinin gereğinden fazla olduğu bilinmektedir. Bunun için ortamın ışık yoğunluğunun ölçülmesi ve kontrol edilmesi esastır. Işık kontrol ve ölçüm sistemlerinde çeşitli sensörler, fototransistörler, fotodiyotlar, LDR [1-2] ve fotoseller [3] kullanılır. Bu çalışmada; Şekil1' de gösterilen, Işığa duyarlı LDR (Işık Bağımlı Direnç), led, röle, transistörden ve buzzerden oluşan ışığa duyarlı devreyi önce Proteus da şematik, baskılı devre ve 3 boyutlu olarak hazırladıktan sonra üç farklı devre hazırlandı. 1. devremiz Arduino ve kodla ile çalışan devredir. 2. Devremiz ise elektronikte kullanılan devre elamanları ile çalışmaktadır. İki devreyi,

maliyet, kullanılabilirlik verim açısından karşılaştırdık.

3. Devremizde ise Ldr nin farklı kullanım alanına değinilerek ışığın ana ve ara renkleri elde edildi.



Şekil 1: LDR'nin resmi ve çalışma grafiği

Kaynakça:

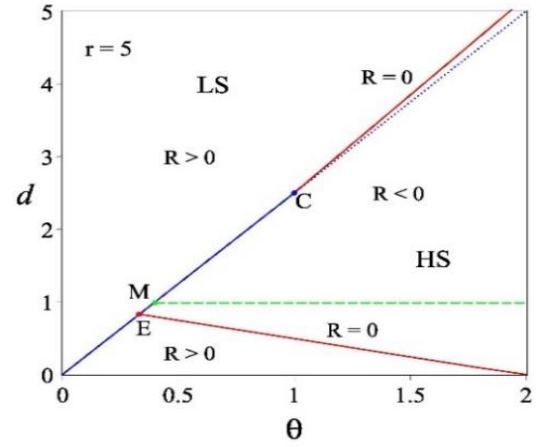
1. Ghassan M.S., Hashimah I., Debnath N. Optimal Light Power Consumption Using LDR Sensor. IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2015; 144-148.
2. Ozcelik M.A. Light Sensor Control for Energy Saving in DC Grid Smart LED Lighting System Based on PV System. J Optoelectron Adv M 2016; 18(5-6): 468-474.
3. Zhang P., Xiupu Z., Rong Z. Design of broad band and high-output power uni-traveling-carrier photodiodes, Opt Commun 2016; 365:194-207.

Dejenerere Düşük Spin-Yüksek Spin Geçişlerinin Termodinamik Geometri Kullanılarak İncelenmesi

Rıza Erdem

Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 07058, Antalya

Dejenerasyon sayıları sırasıyla g_- ve g_+ olan Düşük-Spin (LS) ve Yüksek-Spin (HS) durumları arasındaki geçişlerinin gözlemlendiği malzemeler spin-geçiş ötesi (spin-crossover) sistemler olarak adlandırılmaktadır [1]. İki-adımlı Ising-tipi modeller bu sistemlerin termodinamik özelliklerini incelemeye başarılı sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada, örgü koordinasyon sayısı z olan en yakın komşu etkileşmeli (J) Ising-tipi bir spin-geçiş ötesi sistem için Ruppeiner formalizmine dayalı termodinamik geometri [2] yardımıyla sıcaklık (T) ve kristal alan (Δ) bağımlı Ricci eğrilik skaleri (veya termodinamik eğrilik) bağıntısı (R) türetildi. R 'nin birinci-derece LS-HS geçiş çizgisi boyunca $R > 0$ ve $R < 0$ bölgeleri arasında ani bir atlama gerçekleştirdiği bulundu. Bu eğrilik atlaması kritik noktada (C) sonlanmaktadır. Termodinamik eğrilik C noktasının ilerisinde ise $R = 0$ çizgisi boyunca



Şekil 1: $r = \frac{g_+}{g_-} = 5$ için geometrik faz diyagramı.
 $\theta = kT/zJ$ and $d = \Delta/zJ$

pürüzsüz bir değişim sergilemektedir. Ayrıca, geometrik faz diyagramında HS bölgesinde ikinci bir $R = 0$ çizgisi tespit edilmiştir (Şekil 1).

Kaynakça

1. K. Boukheddaden, I. Shteto, B. Hoo, F. Varret, "Dynamical Model for Spin-Crossover Solids. I. Relaxation Effects in the Mean-Field Approach", Phys. Rev. B **62**, 14796 (2000).
2. G. Ruppeiner, "Riemannian Geometry in Thermodynamic Fluctuation Theory", Rev. Mod. Phys. **67**, 605 (1995).

Kobalt Katkılı Mo₂C'nin Transport Özelliklerinin İncelenmesi

Emre Bölen^{1,2}, Engin Deligöz², Hacı Özışık²

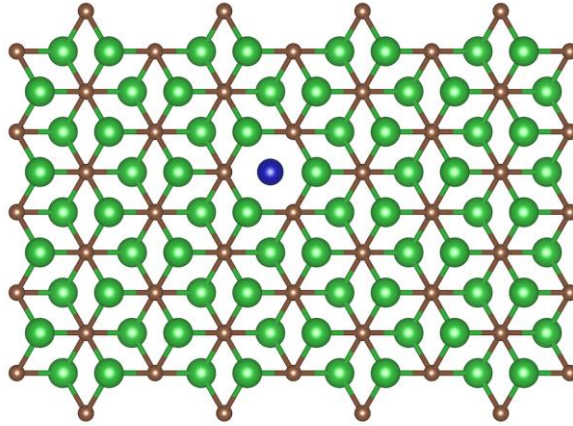
¹Aksaray Üniversitesi, FBE, Fizik ABD, 68100, Aksaray

²Aksaray Üniversitesi, Fizik Bölümü, 68100, Aksaray

2 Boyutlu malzeme ailelerinden biri MXene yapılar, enerji depolama, elektrokimyasal kapasitörler, optoelektronik aygıtlar, yüksek volumetrik kapasitan, carbon bazlı elektrodlar ve triboelektrik uygulamalar olmak üzere birçok teknolojik alan için önem arz etmektedir.

MXene ailesinin bir üyesi olan Mo₂C süperiletken [1] özellik göstermekle birlikte transport [2] ve magnetotransport [3] özelliklerinin incelendiği deneysel çalışmalara konu olmuştur. Yenilerde yapılan bir çalışmada metal katkısı (metal =Fe, Co, Ni, Cu) ile Mo₂C'nin fotokatalitik hidrojen evrimi performansının arttığı belirtilmiştir [4].

Bu çalışmada kobalt (Co) katkılı Mo₂C Yapısal optimizasyon ve elektronik band yapısı ve özellikleri SIESTA programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm hesaplamalar için spin etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Hesaplamalarımız da Genel Gradient Yaklaşımı (GGA) temelli Perdew, Burke, Ernzerhof değişim-korelasyon potansiyeli kullanılmıştır. Kesme-gerilim enerjisi 300 Ry ve elektronik sıcaklık 300 K uygulanmıştır. 10x10x1 k-nokta örnekleme spin-polarize optimizasyon ve elektronik band yapısı hesaplamaları için kullanılmıştır. Dalga fonksiyonları split-type double (DZP) baz setlerinden seçilmiştir. Tüm hesaplamalar da orbital-sınır kesme enerjisi (PA0.EnergyShift) 100 meV uygulanmıştır. Transport hesaplamaları TranSIESTA programı kullanılarak dengede olmayan Green's fonksiyonları yöntemi (NEGF) ile elde edilmiştir. Elektrod hesaplamaları için 101x101x1 k-noktası örnekleme kullanılırken, saçılma bölgesi için 101x1x1 örnekleme kullanılmıştır. Yoğunluk matrisi için hassasiyet 0.0001 seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapısal özellikler ve elektronik band yapısı literatür de daha önce yapılan çalışmalar ile uyumludur. Kobalt katkısının Mo₂C transport özelliklerini önemli ölçüde etkilediği anlaşılmıştır.



Şekil 1: Mo₂C'nin transport hesaplamaları için kullanılan modeli (Rectangular). Mavi Co atomu, yeşiller Mo ve kahverengiler C atomudur.

Teşekkür: Bu çalışma 2018-053 nolu proje ile Aksaray Üniversitesi BAP tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

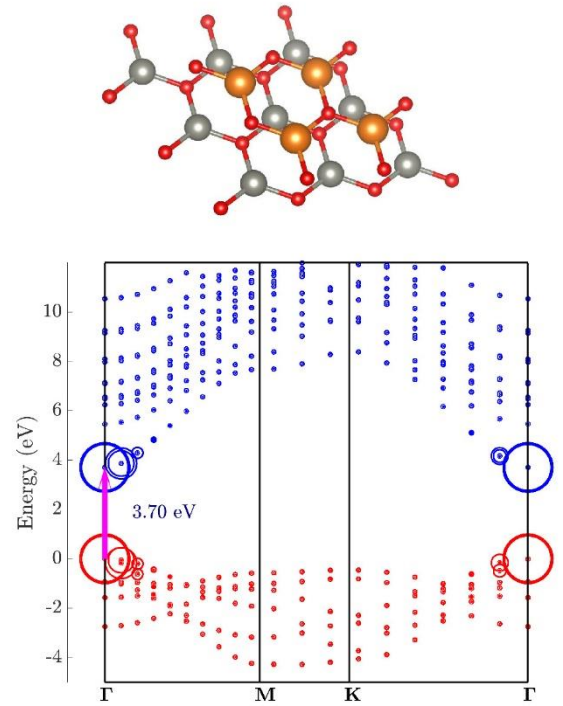
1. C. Xu, L. Wang, Z. Liu, L. Chen, J. Guo, N. Kang, X.-L. Ma, H.-M. Cheng, W. Ren, "Large-area high-quality 2D ultrathin Mo₂C Superconducting Crystals", *Nature Materials*, **14**, 1135 (2015).
2. Z. Liu, C. Hu, C. Wang, S. Song, L. Wang, Y. Wang, N. Kang, X. Ma, H.- M. Cheng, W. Ren, "Grain Boundaries and Tilt-Angle-Dependent Transport Properties of 2D Mo₂C Superconductor", *Nano Lett.*, **19** 857 (2019).
3. L. Wang, C. Xu, Z. Liu, L. Chen, X. Ma, H.-M. Cheng, W. Ren, N. Kang, "Magnetotransport properties in High-Quality Ultrathin Two-Dimensional Superconducting Mo₂C Crystals" *ACS Nano*, **10**, 4504 (2016).
4. J. Liu, G. Hodes, J. Yan, S. Liu, "Metal-doped Mo₂C (metal=Fe, Co, Ni, Cu) as catalysts on TiO₂ for photocatalytic hydrogen evolution in neutral solution", *Chinese Journal of Catalysis*, **43**, 205 (2021).

ZnO/MgO çift katmanlı sistemin elektronik ve optik özellikleri.

Mahsa Seyedmohammadzadeh¹, Oğuz Gülseren¹¹Bilkent Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06800, Ankara

Son zamanlarda, çinko oksit ve magnezyum oksit ince filmlerin katmanlı yapıları kullanılarak yüksek verimli ters çevrilmiş polimer güneş pilleri imal edilmektedir. Bu tür iki katmanlı sistemlerde, ZnO elektronik taşıma katmanı olarak hizmet ederken, MgO elektron toplanmasını yükseltir ve kaçak akımı azaltan taşıyıcı rekombinasyonunu bastırır [1,2]. ZnO ve MgO tabakasının kararlılığı ilk prensip hesapları ile gösterilmiştir [3]. Ayrıca, hali hazırda bozulmamış bir ZnO tek tabakası zentezi gerçekleştirilmiştir [4]. Bu çalışmada, bu raporlar ve grafen benzeri ZnO ve MgO yapıları arasındaki yakın örgü sabiti eşleşmesiyle motive olarak, farklı olası istiflemelerde iki katmanlı MgO ve ZnO'nun elektronik ve optik özelliklerini araştırdık. GW yaklaşımı çerçevesinde çok cisimli pertürbasyon teorisi artı Bethe-Salpeter denklemi yaklaşımı, quazi-parçacık ve eksitonik etkileri tanımlamak için kullanılır. Yerel ve yarı yerel yoğunluk fonksiyonelleri, dalgalanan yük dağılımları arasındaki dinamik korelasyonlardan kaynaklanan van der Waals etkileşimlerini doğru bir şekilde tanımlayamadığından, optB86b-vdW fonksiyonellerini kullandık. Sonuçlarımız, elde edilen çift katmanların AB ve AA yığınları için sırasıyla 3.7 (eV) ve 3.73(eV) doğrudan bant boşluklarına sahip olduğunu göstermektedir. Eksiton bağlanma enerjileri, AB istiflemesi için 1.21 (eV) ve AA için 1.23 (eV) olarak elde edilmiştir. Bu güçlü eksitonik

etkiler, optik bant aralığını görünür ışık aralığına düşürür.



Şekil 1: AB istiflemesi için GW bant yapısı (noktalar) ve BSE bağlantı katsayıları (daireler)

Kaynakça

1. S. Huang, B. Kang, L. Duan and D. Zhang, "Highly efficient inverted polymer solar cells by using solution processed MgO/ZnO composite interfacial layers", *Journal of Colloid and Interface Science*, **583**, 178-187, (2021).
2. I. Ierides, I. Squires, G. Lucarelli, T. Brown and F. Cacialli, "Inverted organic photovoltaics with a solution-processed ZnO/MgO electron transport bilayer", *Journal of Materials Chemistry C*, **11**, 3901-3910, (2021).
3. H. Zheng et al., "Monolayer II-VI semiconductors: A first-principles prediction", *Physical Review B*, **92**, 11, (2015).
4. H. Hong et al., "Atomic Scale Study on Growth and Heteroepitaxy of ZnO Monolayer on Graphene", *Nano Letters*, **1**, 120-127, (2016).

Isıl Buharlaştırma Yoluyla Büyütülen SnSbSe İnce Film Karakterizasyonu

Tunç Bektaş¹, Mehmet Parlak¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06800, Ankara

Bu çalışmada fotovoltaik uygulama alanlarında sıkça kullanılan SnSe ve SbSe malzemelerine alternatif olabileceğini umduğumuz SnSbSe ince filmler cam alttaş üzerine ısıl buharlaştırma yoluyla büyütülmüş ve söz konusu ince filmlerin yapısal, optik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, SnSbSe ince filmler farklı sıcaklıklarda tavlansak süreç tekrarlanmış ve farklı tavlama sıcaklıklarının yapısal, optik ve elektriksel özellikler üzerine olan etkisi değerlendirilmiştir.

MnCo Tabanlı Ferromanyetik Malzemelerin Isısal, Manyetik ve Manyetokalorik Özelliklerinin İncelenmesi

Zehra Gizem MUTLAY¹, Mert Miraç ÇİÇEK¹, Eyüp KAVAK¹, Semih ENER², Oliver GUTFLEISCH², Barış EMRE¹

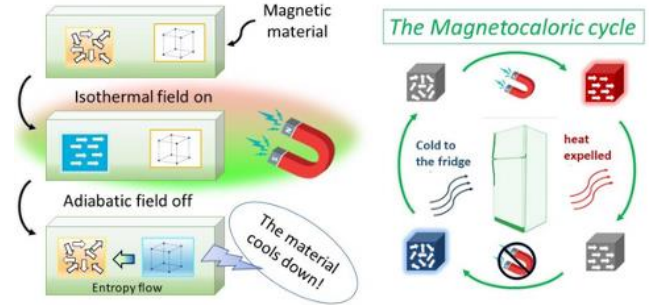
¹ Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği, Manyetik Malzemeler Araştırma Grubu, 06100, Ankara, Turkey

² Materialwissenschaft, Technische Universität Darmstadt, 64287 Darmstadt, Germany

Soğutma teknolojileri modern dünyanın vazgeçilmez öğelerinden biridir ve birçok alan için hayati önem taşımaktadır; gıda, ilaç, enerji, veri ve endüstri. Soğutma için harcanan enerji, dünyadaki ana elektrik kaynaklarından biridir. ABD Enerji Bakanlığı 2020 raporuna göre, klima (AC) ve soğutma sistemleri, günümüzün küresel enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu iki sektör için dünya çapında harcanan enerji miktarının, harcanan toplam enerji miktarının %17'si olduğu belirlenmiş ve bunun da yaklaşık olarak 2000 TWh olduğu hesaplanmıştır. Bu talebin, önümüzdeki 50 yıl içinde keskin bir şekilde artması beklenmektedir [1].

Soğutma teknolojileri ile ilgili problemlerin altında yatan sebep, 100 yıllık ve verimlilik açısından doyuma ulaşmış bir teknoloji olan buhar sıkıştırımlı soğutma, çevreye zararlı hidroflorokarbonlar/HFC'ler salınımına neden olmasıdır ve büyük miktarda elektrik kullanan bir teknoloji olmasıdır. Manyetokalorik soğutma, soğutma teknolojisinde geleneksel sisteme alternatif olabilecek bir yöntemdir. Manyetokalorik malzemeler, dışarıdan uygulanan manyetik alan değişikliğinden (ΔH) kaynaklanan termal değişiklikler gösterirler (Şekil 1). Bu etkiye de “manyetokalorik etki” denmektedir [2]. Bu malzemeler arasında

MnCo tabanlı ferromanyetik malzemeler gelecek vadede malzeme gruplarındandır.



Şekil 1: Sol: Manyetokalorik etki şeması. Sağ: Manyetokalorik soğutucu döngüsünün adımları [3]

Bunun nedeni, bu malzemeler faz geçişinde yüksek manyetizasyon değişimi gösterirler, bu durumda, Clausius-Clapeyron Yasası gereğince $dT/dH = \Delta M / \Delta S$ büyük manyetizasyon değişimi de büyük entropi değişiminin habercisidir. Önceki araştırmalara göre $MnCoGeB_{0.03}$ için geçiş entropisi $\Delta S = 47 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ [4], $Mn_{0.89}Cu_{0.11}CoGe$ için $\Delta S = 58 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ [5] sonuçları elde edilmiştir. Bizim malzememizin geçiş entropisi yaptığımız DSC sonucuna göre yaklaşık $50 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ bulunmuştur. Dolayısıyla literatür ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Manyetokalorik özelliklerinin de yüksek olması beklenmektedir.

Kaynakça

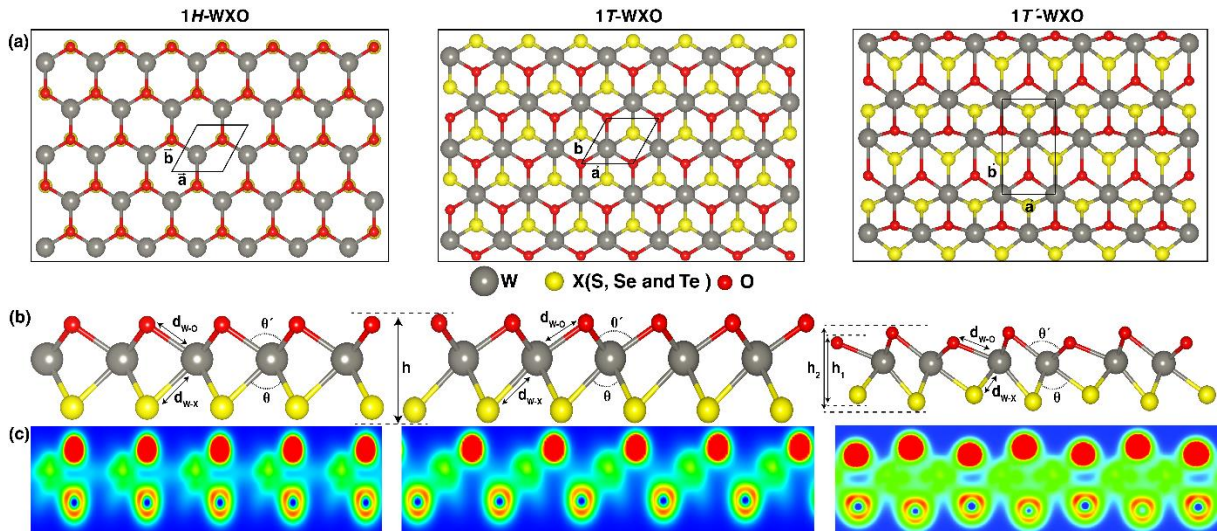
1. Fatih Birol, “The Future of Cooling Opportunities of energy-efficient air conditioning”, International Energy Agency, 11 (2018)
2. X. Moya, “Caloric materials near ferroic phase transitions”, Nature Materials, 13, 439-450 (2014)
3. <https://www.imem.cnr.it/en/AdR/4/218/Magnetic-and-Multiferroic-Materials/Magnetic-shape-memory-materials-and-magnetocalorics>
4. Araceli Aznar, “Giant and Reversible Inverse Barocaloric Effects near Room Temperature in Ferromagnetic $MnCoGeB_{0.03}$ ”, Advanced Materials, 31, (2019): 1903577
5. S. K. Pal, “Enhancing giant magnetocaloric effect near room temperature by inducing magnetostructural coupling in Cu-doped $MnCoGe$ ”, Materials and Design, 195, (2020): 109036

İki Boyutlu Janus WXO Geçiş Metal Dikalkojen Oksit Yapılarının İlk-Prencipler Yöntemiyle İncelenmesi

Mirali Jahangirzadeh Varjovi¹ ve Engin DURGUN¹

¹UNAM - Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi ve Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü, Bilkent Üniversitesi, 06800, Ankara Türkiye

İki boyutlu malzemelerde yapısal simetri kırılması, üstün fiziksel özellikler ortaya çıkarabilir ve malzemenin piezoelektrik özellikler göstermesini sağlayabilir [1,2]. Bu çalışmada, Janus WXO ($X = S, Se$ ve Te) tek tabakalı yapılarının üç yapısal fazı (1H, 1T ve 1T') ilk-prencipler yöntemi kullanılarak önerilmiş ve bu malzemelerin titreşimsel, termal, elastik, piezoelektrik ve elektronik özellikleri araştırılmıştır. Fonon spektrum analizi 1H fazının dinamik olarak kararlı olduğunu gösterirken 1T fazının negatif frekanslar sergilediğini ve bozulmuş (distorted) 1T' fazına dönüştüğünü ortaya koymaktadır. İlk-prencipler moleküler dinamik simülasyonları 1H- ve 1T'-WXO tek katmanlarının yüksek sıcaklıklarda bile önemli yapısal deformasyonlar olmaksızın termal olarak kararlı olduğunu doğrulamaktadır. İkili sistemlerden farklı olarak, Janus tek katmanlı yapılarının oluşturulması ile ek Raman aktif modların ortaya çıktığı görülmektedir. 1H-WXO yapıları izotropik mekanik özellikler sergilerken, 1T'-WXO yapıları için bu özellikler oryantasyona bağlıdır. Bunun indirek, 1H-WXO tek tabakalarının dolaylı bant aralıklı yarı iletkenler olduğu ve bant aralığının kalkojen grubunda aşağı doğru inildikçe azaldığı görülmektedir. 1T'-WSO dışında, tek katmanlı 1T'-WXO malzemeleri, Peierls bozulması ile ilişkilendirilen dar bir bant aralığına sahiptir. Ayrıca bu çalışma çerçevesinde, her iki faz için de spin-yörünge etkileşiminin bant yapısı üzerindeki etkisi ve bant aralığında meydana getirdiği değişim değerlendirilmektedir. Janus WXO tek tabakalı malzemelerinin çok yönlü mekanik ve elektronik özellikleri, üstün piezoelektrik özellikleriyle beraber düşünüldüğünde, bu sistemlerin nanoelektronik uygulamalar için oldukça uygun olabileceğine işaret etmektedir [3].



Şekil 1: İki-boyutlu Janus WXO geçiş metal dikalkojen oksit yapılarının a) üstten b) yandan görünümü. c) toplam yük dağılım profilleri.

Teşekkür: Bu çalışma 117F383 nolu proje ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. M. Yagmurcukardes, C. Sevik, and F. Peeters, Phys. Rev. B 100, 045415 (2019).
2. M. Demirtas, M. J. Varjovi, M. M. C, i çek, and E. Durgun, Physical Review Materials 4, 114003(2020).
3. M. J. Varjovi, M. Yagmurcukardes, F. Peeters, and E. Durgun, Physical Review B 103, 195438(2021).

Yarıiletken Yapay Grafen Kuantum Noktaların Elektronik ve Manyetik Özellikleri

E. Bulut Kul, Emre Okcu, Gökhan Öztarhan, A. Devrim Güçlü

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü – Fizik Bölümü – 35433 – İzmir

İki boyutlu yapılar olan grafen kuantum noktaların sıfır bant aralığına sahip olması elektronik, optik ve termal özellikleri açısından tercih edilmesine ve geçtiğimiz on yıl içerisinde sıkça incelenen bir malzeme olmasına yol açmıştır [1-2]. Grafenin altıgen bal peteği yapısından kaynaklanan bu özellikleri dikkatleri, benzer yapıdaki iki boyutlu malzemelerin de üzerine çekmiştir. Bu bağlamda, grafenin altıgen bal peteği yapısını taklit ederek oluşturulan yapay altıgen yapılar endüstriyel üretim ve kontrol edilebilirlik açısından avantaj sağlamaktadır [3-6]. Genel olarak lazerler, moleküller ve yarıiletkenler ile oluşturulan bu iki boyutlu yapılara “yapay grafen nanosistemler” adı verilir.

Bu çalışmada, sıkı-bağ, ortalama-alan Hubbard, yoğunluk fonksiyonel teorisi (YFT) yaklaşımları aracılığıyla kuantum Monte Carlo metodu kullanarak grafen kuantum noktaların elektronik ve manyetik özelliklerinin incelenmesi ve bu özelliklerin istenilen şekilde tasarlanması amaçlanmıştır. YFT metodunda, sonsuz büyüklükteki yapay grafenin elektronik özellikleri incelendi. Bal peteği yapısının noktalar tarafından yaratılması sayesinde bant yapılarında Dirac konileri oluşabildiği gözlemlendi. Ayrıca hoplama parametresi t değerleri farklı nokta uzaklıkları, nokta yarıçapları ve potansiyelleri için hesaplandı. Ardından, tek nokta için Hubbard U parametreleri de hesaplanarak t değerleriyle birlikte kuantum Monte Carlo için deneme dalga fonksiyonları oluşturuldu.

Varyasyonel kuantum Monte Carlo metodu incelemesinde, deneme dalga fonksiyonları üç farklı metot kullanılarak elde edildi. İlk metotta, gaussian fonksiyonlar kullanılarak lokalize orbitaller oluşturuldu ve Slater deneme dalga fonksiyonu tanımlandı. Diğer iki metotta ise, deneme dalga fonksiyonları sıkı-bağ ve ortalama-alan Hubbard hamiltonyenleri çözülerek elde edilen öz durumlar kullanılarak oluşturuldu. Bu sayede, yapay grafen kuantum noktaların çok elektron temel durumunu optimize edip nokta yarıçapları ve noktalar arası uzaklık gibi sistem parametrelerine bağlı olarak inceledik ve manyetik faz geçişleri olabileceğini gösterdik.

Kaynakça

1. D. Güçlü, P. Potasz, M. Korkusinski, and P. Hawrylak, “Graphene Quantum Dots” Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
2. Kotov, V. N., Uchoa, B., Pereira, V. M., Guinea, F. & Neto, A. H. C. Electron–electron interactions in graphene: current status and perspectives. *Rev. Mod. Phys.* 84, 1067 (2012).
3. S. Wang et al., “Observation of Dirac bands in artificial graphene in small-period nanopatterned GaAs quantum wells,” *Nat. Nanotechnol.*, vol. 13, no. 1, pp. 29–33, 2017.
4. L. Du et al., “Emerging many-body effects in semiconductor artificial graphene with low disorder” *Nat. Commun.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–6, 2018.
5. Park, C. H. & Louie, S. G. Making massless Dirac Fermions from a patterned two-dimensional electron gas. *Nano Lett.* 9, 1793 (2009).
6. Gibertini, M. et al. Engineering artificial graphene in a two-dimensional electron gas. *Phys. Rev. B* 79, 241406 (2009).

İndeks artırımının plazmon analogu ile aktif ayarlanabilen fotonik kristal tabanlı anahtar

Taner Aytas¹, Emre Yuces², Zafer Artvin², Ramazan Şahin¹, Alban Bek², M. Emre Taşgın³

¹Akdeniz Üniversitesi, Fizik Bölümü, 07058, Antalya

²Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06800, Ankara

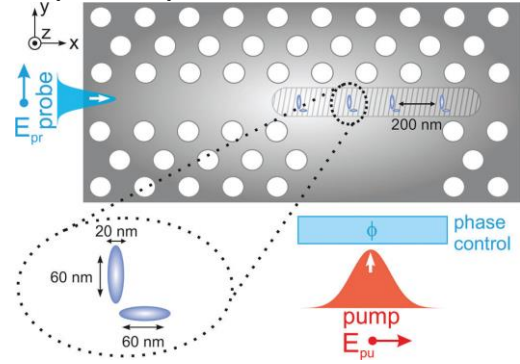
³Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, 06800, Ankara

Muhtelif malzemelerin görünür ışık dalgaboyu ile kıyaslanabilir boyutlardaki fabrikasyonu/islenmesi düşük boyutlarda elektromanyetik radyasyonun kontrolünün yanında devrim niteliğinde metamalzemelere ve fotonik kristallere (FK) giden yolun da açılmasına olanak sağlamıştır. FK'lar, periyodik olarak kırılma indisi değişimi elde edilen malzemeler, elektromanyetik alan dispersiyonunun, dalgakılavuzu hatta belirli frekans bantlarında filtreler olarak kullanılır¹⁻².

Gelen ışığı nanometre mertebelerinde lokalize eden metal nanoyapılar fotonik teknolojilerinde de kullanılabilir. Yarıiletken ve metalik nano-yapılarla üretilen hibrid meta-yapılar entegre fotonik yapıların çok yönlü kullanımına olanak sağlamaktadır. Yine de modülasyon derinliği, tepki süresi ve özellikle işlevleri metalik yapıların kayıplarıyla sınırlıdır. Bu nedenle, yüksek kırılma indisi farklılıkları sağlayan ve FK üretiminden sonra ayarlanabilen özellikli periyodik bir yapının üretimi FK tabanlı teknolojilerin geliştirilmesinde de faydalı olacaktır.

Bu çalışmada, FK'lar için farklı bir aktif kontrol mekanizması önerilmektedir. Yukarıda bahsedilen ve FK'lar için oldukça önemli olan modülasyon derinliği, frekans bant aralığı vb. özelliklerin aktif olarak ayarlanabildiği bu sistemde yakın zamanda keşfedilen plazmonik nano-çubukların eslenmesi ile elde edilen olağandışı indeks-artırma fenomeni kullanılmaktadır. Bu yöntemde, farklı polarizasyona sahip bir kontrol atımlı lazeri indeks değerinin bir merteye kadar ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu

çalışmada, plazmon-analog indeks artırmanın FK tabanlı teknolojileri bir adım öteye taşımakta olduğu gösterilmiştir. Kurulan model sistem ile kontrol atımlı lazerin şiddeti ve fazı değiştirilerek istenilen frekansta stop-bant oluşturmak için kullanılabilir.



Şekil 1: Mikron-altı fotonik anahtar için bir örnek yapı

Bu yapıda sonda (E_{1y}) ve kontrol (E_{2x}) lazerleri 3-4 katman nanoçubuk çiftine girmektedir. Kontrol lazer darbesinin genliği ve fazı gümüş nanoçubukların indeks artırımını kontrol etmektedir. Kontrol lazer darbesi kapalı olduğunda sonda lazer darbesi iletilirken, kontrol darbesi açıkken sonda lazer darbesinin iletimi önlenir (stop-bant). Kontrol lazer darbesinin fazı x-doğrultusunda ayarlanarak Gümüş nanoçubukların periyodik yapı oluşturma kuralının bozulmaması sağlanır. Elde ettiğimiz sonuçlar 3-4 eşlenmiş nanoçubuk katmanının dahi çok yüksek modülasyon derinliği elde edilmesini sağlamıştır. Bu sunumda hem kontrol darbesi ile indeks-artırımının nasıl yapıldığı hem de aktif ayarlanabilir özellikle FK elde edilmesi tartışılıp elde ettiğimiz sonuçlar paylaşılacaktır.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK 1001 117F118, TÜBİTAK 1001 119F101, TÜBİTAK 3501 121F030 nolu projeler ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. E. Yablonovitch et. al, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics", Physical Review Letters, **58**, 2059 (1987).
2. E. Yablonovitch et. al., "Photonic band structure: The face-centered-cubic case employing nonspherical atoms", Physical Review Letters, **67**, 2295 (1991).
3. A. Panahpour et. al., "Refraction enhancement in plasmonics by coherent control of plasmon resonances", Physical Review B, **100**, 075427 (2019).
4. E. Yuces et. al., "Actively tunable photonic crystal-based switch via plasmon-analog of index enhancement", Applied Physics Letters, **119**, 211103 (2021).

Tek molekül çözünürlüklü ultra-hızlı yakın alan optik mikroskopisi

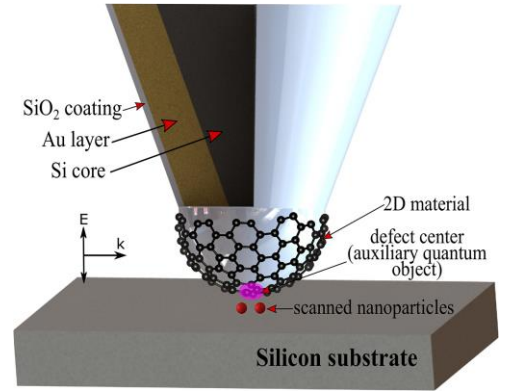
Taner Aytaş¹, Rasim Volga Ovali², Ramazan Şahin¹, Alban Bek³, M. Emre Taşgın⁴¹Akdeniz Üniversitesi, Fizik Bölümü, 07058, Antalya²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fizik Bölümü, 53100, Rize³Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, 06800, Ankara⁴Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, 06800, Ankara

Metal nano-parçacıklar üzerine ışık düştüklerinde, bu ışığın elektromanyetik alanı ile güçlü bir şekilde etkileşirler. Metal nano parçacıktaki serbest elektronların kolektif titreşimleri yüzey plazmonları olarak adlandırılır. Işığın elektromanyetik alanı metal nano-parçacıklar sayesinde nanometre boyutlarına hapsedilebilir ve oluşan bu lokalizasyon aynı zamanda şiddeti 10^5 - 10^6 kat artan bir elektromanyetik alan oluşturur¹⁻². Oluşan bu yüksek şiddetli elektromanyetik alan hem doğrusal hem de doğrusal olmayan optik süreçlerde sistemin tepkisinin artırılmış olarak elde edilmesini kolaylaştırır. Hatta bu elektromanyetik alan lokalizasyonu tek-molekül çözünürlüklü analizlere yol açmaktadır.

Metal kaplı Atomik Kuvvet Mikroskopunun (AKM) tip kısmında oluşturulan alan lokalizasyonu, görünür ve yakın kızıl ötesi bölgede tip ucu boyutu (eğrilik yarıçapı) ile sınırlı olacak şekilde 10 nm' ye kadar çözünürlükte taramalı yakın alan optik görüntüleme (SNOM) sağlayabilir.

Bununla birlikte, a-SNOM' un uzamsal çözünürlüğü hala AKM tip ucu boyutu ile sınırlıdır. Ayrıca 10 nm uçlu metal kaplı AKM tipi üretmek oldukça zordur. Bu çalışmanın bulguları ile uzaysal çözünürlükte karşılaşılan zorlukların üstesinden gelinebileceğini, sadece çok küçük bir bölgede (kuantum nesne etrafında) plazmon yaşam süresini artırdığımız ilginç bir yöntemle göstermekteyiz³. AKM iğnesi (Şekil 1) Pembe kısımda kusur-merkezi

oluşturmak için bükülmüş 2D malzeme ile kaplanmıştır. 2 nm çaplı 2 adet (kırmızı) nano-parçacık taraması yapılarak bu parçacıkların optik yöntemle ayrıştırılıp ayrıştırılmayacağı (çözünürlük) denenmiştir. AFM ucu 5 fs atım süreli lazer ile uyarılmış ve 14 fs yaşam süresine sahip plazmon alanı elde edilmiştir. İlginç bir şekilde bu plazmon alanı yaşam süresi; kusur merkezi etrafında Fano rezonansları sayesinde 240 fs olacak şekilde elde edilmiştir.



Şekil 1: 10 nm kalınlıkta Au ile kaplanmış Si AKM iğnesi.

Bu poster sunumunda hem 2D malzemede oluşan kusur merkezinin plazmon yaşam süresindeki artmayı nasıl sağladığı kuramsal olarak açıklanırken, bu fiziksel mekanizmanın FDTD yöntemi kullanılarak elde edilmesi ve a-SNOM tekniği ile birleştirilen bu fenomenin 2 nm çapında 2 parçacığı yüksek çözünürlükte/uzaysal olarak ayırt edilebilir görüntülemenin nasıl mümkün olduğu açıklanacaktır⁴.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBA GEBİP 2017, TÜBİTAK 117F118 ve 119F101 nolu projeler ile TÜBİTAK desteklenmiştir.

Kaynakça

1. C. Höppener et. al., "Self-similar goldnanoparticleantennas for a cascaded enhancement of the optical field", Physical Review Letters, **109**, 017402 (2012).
2. A. Panahpour et. al., "Refraction enhancement in plasmonics by coherent control of plasmon resonances", Physical Review B, **100**, 075427 (2019).
3. B.C. Yildiz et. al., "Plasmon lifetime enhancement in a bright-dark mode coupled system", Physical Review B, **101**, 035416 (2020).
4. R.V. Ovali et. al., "Single-molecule-resolution ultrafast near-field optical microscopy via plasmon lifetime extension", App. Phys. Lett. **118**, 241103 (2021).

Pt/Ta/CoFeB/MgO Çok Katmanlı Film Yapısında Ta Katman Kalınlığının Manyetik Anizotropiye Etkisinin Araştırılması

Mustafa Akyol¹, Ahmet Ekicibil²

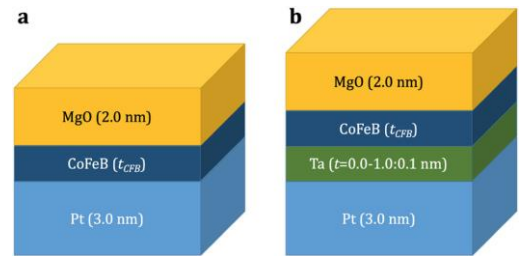
¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü, 01330, Adana

Manyetik hafıza (bellek: RAM-Hard-disk) aygıtlarının kapasitelerinin, her yıl bir önceki yıla kıyasla iki kat arttığı gözlenmiştir. Ancak son zamanlarda, kapasitelerinin artırılmasında yaşanan güçlükler (örneğin bilginin manyetik katmanlara yatay olarak yazılması gibi) bu oranı %40'lar seviyesine geriletmiştir. Her bir datanın (0 veya 1) yazılması için oluşturulan aygıt boyutu çok küçültüldüğünde ve birbirlerine yaklaştırıldıklarında, termal enerjileri bir demanyetizasyon oluşturmaktadır. Bu zorluğun ve sınırlayıcı faktörlerin etkisini ortadan kaldırmak için, araştırmacılar yeni bir manyetik yazma tekniği geliştirdiler. Burada bilgi manyetik katmana yatay değil de dik bir şekilde yazılarak, aygıtın kapasitesini yaklaşık 10 kat daha arttırdığı ve yukarıda bahsedilen negatif etkinin ortadan kalktığı gözlenmiştir. Son yıllarda yeni nesil elektronik aygıtların geliştirilmesindeki potansiyelinden ötürü, ultra ince filmlerde yüzeye dik oluşturulan manyetik anizotropinin (PMA) elde edilmesi ve araştırılması oldukça ilgi çekmiştir. Kapasiteye ek olarak, tasarlanan aygıtların enerji tüketimleri, bilgiyi yazma ve okuma hızları gibi birçok teknolojik parametrenin geliştirilmesi için son yıllarda spin-tabanlı elektronik (Spintronik) konusu oldukça yoğun olarak çalışılmaktadır [1].

Bu amaçla, bu çalışmada Pt ve CoFeB katmanları arasında yerleştirilen ince bir Ta katmanının, dik manyetik anizotropi (PMA) üzerindeki etkisi incelenmiştir (Şekil 1) [2]. Kristal yapı, yüksek çözünürlüklü x-ışını

kırınımı (HR-XRD) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Tüm numunelerde yüzey merkezli kübik kristal yapı olan Pt (111) kırınım piki gözlenirken, Ta tabaka kalınlığı 0.8 nm'nin üzerindeki numunelerde çok zayıf ve geniş bir α -Ta (110) kırınım piki görülmüştür. Manyeto-optik Kerr etkisi (MOKE) ölçümleri, PMA'nın Pt ve CoFeB katmanı arasında Ta katmanı eklenerek geliştirilebileceğini göstermektedir. Manyetik olarak ölü katman kalınlığı (t_{dead}) ve ara yüzey anizotropi enerji yoğunluğu (K_i) $t_{Ta} = 0.0, 0.5$ ve 1.0 nm için sırasıyla 0.135 nm, 0.75 erg/cm²; 0.141 nm, 1.02 erg/cm², 0.187 nm, 1.15 erg/cm² olarak bulundu. Hem t_{dead} hem de K_i değerlerinin, Pt/Ta(t)/CoFeB/MgO çok katmanlı film yapılarında Ta katman kalınlığıyla birlikte arttığı görülmüştür. Pt/Ta(t)/CoFeB/MgO çok katmanlı film yapısındaki ara yüzey manyetik anizotropi kaynaklarının, hibridizasyon, kristallik özellikleri ve/veya bor difüzyon etkisi olabileceği sonucu çıkarıldı.



Şekil 1: Katmanlı film yapılarının şematik gösterimi a) Ta katmanı olmadan, b) farklı kalınlıklarda Ta katmanlı yapı

Teşekkür: Bu çalışma 19103008 nolu proje ile Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. H. Kim, Noh, J-S., Roh, J. W., Chun, D.W., Kim, S., Jung, S.H., Kang, H. K., Jeong, W.Y., and Lee, W. "Nanoscale Research Letters", **6**, 13 (2011).
2. M. Akyol, B. Kıvrak, K. U. Tümen and A. Ekicibil, "Journal of Materials Science: Materials in Electronics", **31**, 23037–23043 (2020).

DİZİN

AKAOĞLU	B.	P18		
AKIN	K.	S4	S5	P10
AKIN SÖNMEZ	N.	P13	P21	
AKMAN	B.	P21		
AKYOL	M.	P34		
ALP	K.	P9		
ALSUFOK	A. M. A.	P22		
ARSLAN	E.	P19		
ARTVİN	Z.	P32		
ASAR	T.	P20		
ATAR	K.	P16		
ATAŞER	T.	P13		
ATEŞ	H.	S3	S8	
AYDIN	F.	P3		
AYKIN	A. K.	S6		
AYTAŞ	T.	P32	P33	
AZİZİAN	Y.	Ç1		
BADALI	Y.	P19		
BAĞCI	F.	P9	P18	
BAHÇECİ	M.	S10		
BALCI	E.	P13		
BARAN	V.	P20	P21	
BAŞAR	G.	P3		
BEK	A.	P32	P33	
BEKAERT	J.	S1		
BEKTAŞ	T.	P28		
BELLİKLİ	M.	P3		
BÖLEN	E.	P26		
BUDAK	B.	S3		
CAN	S.	P18		
ÇAĞLAYAN	R.	P5	P12	
ÇAKMAK	M.	P21		
ÇELİK	B.	P11		
ÇİÇEK	M. M.	P29		
DELİGÖZ	E.	P26		
DEMİRCİ	A	P23	P24	
DEMİRCİ	E.	P4		
DEMİROĞLU	İ.	S2		
DONERTAS	S.	S3		
DUMAN	E.	Ç2		
DURAN	A.	P17		
DURGUN	E.	P14	P30	
EKİCİBİL	A.	P34		
EMRE	B.	P29		
ENER	S.	P29		
ERDEM	R.	P25		
ERSAN	F.	P4		
EVLİOĞLU	H.	S9	S11	
GOKKAVAS	M.	S3		
GÖKSAL	İ.	S4	S5	

SOYAD	AD	ÖZET NO				
GUTFLEISCH	O.	P29				
GÜÇLÜ	A. D.	P31				
GÜLER	H. E.	P5	P11			
GÜLSEREN	O.	P27				
GÜLSU	M. S.	P18				
GÜLTEKİN	A.	P23				
GÜLTEKİN	A.	P24				
GÜRBULAK	B.	P15				
HALİLOĞLU	T.	P3				
JAHANGIRZADEH VARJOV	M.	P30				
KARAASLAN	Y.	S2				
KARAKAŞ	V.	S5	S6			
KARAKAYA	S.	P7				
KAVA	E.	P29				
KEÇELİ	M.	S2				
KILIÇ	M. E.	P14				
KOCABAŞ	A.	Ç3				
KOCABAŞ	T.	S2				
KOCAMAN	B.	S4	S5	S6	P10	
KUL	E. B.	P31				
KUNDAKÇI	M.	P15				
KURTARAN	S.	P6				
KURTULUŞ	G.	P20				
LELOĞLU	D.	P8				
MERT	G.	P22				
MILOSEVIC	M. V.	S1				
MOĞULKOÇ	Y.	P4	P5	P8	P12	
MOĞULKOÇ	A.	P8	P11			
MOL	D. E.	P16				
MUT	M.	S8				
MUTLAY	Z. G.	P29				
OKCU	E.	P31				
ONAYLI	B.	P2				
OVALI	R. V.	P33				
ÖZATAY	Ö.	S4	S5	S6	P10	
ÖZBAY	E.	S3	P1	P2	P3	
ÖZBEY	D. H.	P14				
ÖZÇELİK	S.	P13	P20	P21		
ÖZİŞİK	H.	P26				
ÖZKÖK	Y.	P21				
ÖZTARHAN	G.	P31				
ÖZTÜRK	B.	P2				
ÖZTÜRK	M. K.	P23	P24			
ÖZTÜRK YILDIRIM	S.	S9	S10	S11		
PARLAK	M.	P28				
PETROV	M.	S1				
PİŞKİN	H.	S4	S5	S6	P10	
POYRAZ	M. E.	P13				
SARITAŞ	S.	P15				
SAVAŞ	A.	P2				

SELVİ	E.	S4	S5	P10
SENGER	R. T.	Ç4		
SERBEST	B.	P13		
SEVİK	C.	S1	S2	
SEYEDMOHAMMADZADEH	M.	P27		
ŞAHİN	R.	P32	P33	
ŞAHİN TIRAŞ	K.	S7		
ŞİMŞEK	T.	Ç5		
TAŞGIN	M. E.	P32	P33	
TAŞKIRAN	S.	P16		
TOOR	F.	S7		
TOPRAK	A.	P1		
TURGUT	E.	P15		
ÜZGÜÇ	A.	P16		
VÁZQUEZ-MAYAGOITIA	A.	S2		
WOHLGENANNT	M.	S7		
YILDIRIM	M.	P15		
YILMAZ	D.	P1	P2	P3
YILMAZ	A. E.	P18		
YUCE	E.	P32		
ZADEH	M. H. R.	S4	S5	P10
ZENGİN	Y.	P5		



DOĞUŞ
BÜRO MAKİNALARI

Gazi
fotonik

YMF26

26. YOĞUN MADDE FİZİĞİ

24 ARALIK 2021

Web: <http://ymf26.gazi.edu.tr/>

E-posta: ymf26@gazi.edu.tr

